

ANKARA İKLİMİNDE BİYOKÜTLE ÜRETEEN BİR CEPHE ELEMANININ ENERJİ, AYDINLATMA VE ISIL KONFOR ÜZERİNE ETKİSİNİN PARAMETRİK ANALİZİ

Gülden KÖKTÜRK*, Yonca YAMAN**, Ayça TOKUÇ***

Öz

Birleşmiş Milletler, sürdürülebilir kalkınma amaçları ile gezegenimizi korumak ve tüm insanların refah içerisinde yaşayabilmeleri için bir eylem çağrısında bulunmuş ve 11. ve 13. hedef maddelerinde sürdürülebilir şehirler ve küresel ısınmanın azaltılması konularına vurgu yapmıştır. Bu kapsamda binalarda küresel ısınmaya karşı karbondioksit salımını azaltma amacıyla yenilikçi cephe uygulamalarına verilen önem artmaktadır. Bu çalışmada, iç ve dış mekan arasındaki enerji ve ışık geçirimini düzenlerken aynı anda yenilenebilir biyokütle (mikroalg) üretiminin gerçekleştirilebileceği bir cephe elemanı önerilmektedir. Bu eleman, çift cam içinde biyokütle üretilen sıvı ortam ve üstündeki hava katmanından oluşmaktadır. Önerilen bu cephe elemanı Ankara ikliminde yer alan bir ofise uygulanmıştır. Bu elemanın aydınlatma, enerji tüketimi ve ısı konfora etkisi sırasıyla elverişli günışığı aydınlatması (EGA), enerji kullanım yoğunluğu (EKY) ve ısı konfor ihlali (IKİ) göstergeleri doğrultusunda simülasyon yöntemiyle parametrik olarak incelenmiştir. Parametreler pencere duvar oranı ve üretilen biyokütleyle bağlı olarak ışık geçirgenliğidir. Simülasyon, Grasshopper'da modellenerek Ladybug, Honeybee ve Colibri eklentileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları bir uygunluk fonksiyonuna göre sıralanarak yorumlanmıştır. Buna göre, aynı pencere duvar oranında biyokütle arttıkça EGA'nın azaldığı ve EKY'nin arttığı görülmüştür. EGA'nın en yüksek ve IKİ'nin ve EKY'nin en düşük olduğu durumlarda ise en iyi seçenekler %20 biyokütle konsantrasyonunda %25 ve %30 pencere duvar oranlarıdır. Sonuç olarak bu cephe elemanının Ankara ikliminde kullanılabileceği görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Mikroalg; Parametrik tasarım; Grasshopper; Küresel ısınma; Birleşmiş Milletler sürdürülebilir kalkınma amaçları

* Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, gulden.kokturk@deu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-7466-426X

** Dokuz Eylül Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, yonca.yaman@ogr.deu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-4393-5490

*** Dokuz Eylül Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, ayca.tokuc@deu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-4988-3233

PARAMETRIC ANALYSIS OF THE EFFECT OF A BIOMASS PRODUCING FACADE ELEMENT ON ENERGY, LIGHTING AND THERMAL COMFORT IN ANKARA CLIMATE

Gülden KÖKTÜRK*, Yonca YAMAN**, Ayça TOKUÇ***

Abstract

The United Nations called for an action to protect our planet and ensure that all people can live in prosperity by announcing sustainable development goals. It emphasizes sustainable cities and reducing global warming in its 11th and 13th goals. In this scope, the importance given to innovative facade applications to reduce carbon-dioxide emissions against global warming is increasing. This paper proposes a façade element that can produce renewable biomass (microalgae) inside. Simultaneously this element regulates the energy and light transmission between the indoors and outdoors. It consists of a double-glazed container with a liquid medium in which biomass is produced and an air layer above it. This proposed application is for an office in Ankara. Its effects on lighting, energy consumption and thermal comfort are analyzed parametrically by simulation method to indicate useful daylight illuminance (UDI), energy use intensity (EUI) and thermal comfort violation (TCV), respectively. Analysis parameters are window to wall ratio and light transmittance depending on the biomass production. The simulation model is in Grasshopper and run using the Ladybug, Honeybee and Colibri plugins. The results were ordered according to a fitness function. Accordingly, as the biomass increases in the same window-to-wall ratio, the UDI decreases and the EUI increases. In cases where UDI is the highest and EUI and TCV are the lowest, the best options are at 20% biomass concentration at 25% and 30% window to wall ratios. As a result, this facade element can be utilized in Ankara climate.

Keywords: *Microalgae; Parametric design; Grasshopper; Global warming; United Nations sustainable development goals*

* Dokuz Eylül University, Faculty of Engineering, Dept. of Electrical&Electronics, gulden.kokturk@deu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-7466-426X

** Dokuz Eylül University, Faculty of Architecture, Dept. of Architecture, yonca.yaman@ogr.deu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-4393-5490

*** Dokuz Eylül University, Faculty of Architecture, Dept. of Architecture, ayca.tokuc@deu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-4988-3233

GİRİŞ

Birleşmiş Milletler tarafından Eylül 2015'te kabul edilen Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri, sürdürülebilir kalkınma ile ilgili konuları ülkelerin genel ekonomik, çevresel ve sosyal çerçevelerine entegre etmeyi amaçlayan 17 amaç ve 169 hedeften oluşmaktadır (Bobylev ve Solovyeva, 2017). Sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin şehirleri ve insan yerleşimlerini kapsayıcı, güvenli, dayanıklı ve sürdürülebilir kılmak üzerine olan 11. maddesi binaların sürdürülebilirliği konusuna vurgu yapmaktadır (Bleischwitz, Spataru, VanDeveer, Obersteiner, van der Voet, Johnson, Andrews-Speed, Boersma, Hoff ve Vuuren, 2018). Emisyonları düzenleyerek ve yenilenebilir enerjideki gelişmeleri teşvik ederek iklim değişikliği ve etkileriyle mücadele etme üzerine olan 13. maddesi de çevre ve enerji korunumu konusuna önem vermektedir. Bu bağlamda, binalardaki temel enerji tüketim değerlerinin ısıtma, soğutma ve aydınlatma için olduğu görülmektedir. Bu yükler doğrudan iklim, kullanılan ekipman, bina tipi, kullanıcı profili, bina tasarımı ve iç ve dış ortamlar arasında bariyer görevi gören bina kabuğu ile ilgilidir. Konvansiyonel yapım pratiklerinin ürettiği statik çevre yerine algılama, çalıştırma ve düzenleme işlevlerine sahip uyarlanabilir teknolojilerin geliştirilmesi ve kullanılması konusunda çok sayıda araştırma bulunmaktadır.

Uyarlanabilir malzemeler ve cephe sistemleri bir yandan insanların konforunu artırırken bir yandan da yapıllı çevre ile kurdukları iletişim biçimlerini değiştirmektedir (Kale ve Tokuç, 2021). Uyarlanabilir teknolojilerle ilgili yayınlarda daha çok malzeme ve enerji akışı araştırılmaktadır (Pons-Valladares ve Nikolic, 2020). Oysaki ısıya, ışığa ve neme duyarlı malzemeler ile kurulan sistemler, kullanıcının en az müdahale ettiği, dışarıdan ek bir enerji girdisi olmadan çalışabilmektedir. Bu malzemelerin uygulanması gelecek vaat etse de yaygın uygulanabilmeleri için işlevsellik, tasarım yaklaşımları ve üretim biçimleri hakkında farklı araştırmalara ihtiyaç duymaktadır. Uyarlanabilir cephe uygulamalarında çevresel etkileri algılayan ve karar destek mekanizmaları yardımıyla yanıt verebilen sistemler artık mimari uygulamalarda karşımıza çıkmaktadır. Bu noktada, kaynak tüketimi ve atık yönetiminde döngüsel ekonomi prensiplerini barındıran uyarlanabilir cepheler gitgide artan işlevsel ve çevresel gereksinimlere cevap verebilirler (Antonini, Boeri ve Giglio 2021). Biyomimetik olmasa da biyoişbirlikçi bir yaklaşımla tasarlanan algıli cephe sistemlerinin de kullanımı araştırmacıların gündeminde olup üzerine çalışılan konulardan biri haline gelmiştir (Özkaban, Altun, Tokuç, Çakır, Köktürk ve Şendemir, 2020). Buna rağmen, cephe elemanı olarak mikroalgli sistemlerinin kullanımına yönelik az sayıda çalışma bulunmaktadır.

Uyarlanabilir cephe tasarımı ile yapıllı çevrede kaynak ve enerji tüketiminin azaltılması mümkündür. Fakat, tüm bu bahsi geçen konular düşünüldüğünde tasarımcının olası faydaları ve maliyetleri değerlendirmesi ve karar vermesi için parametrik tasarım araçlarından gitgide daha fazla yararlanılmaktadır. Bu çalışmada cephe elemanı olarak önerilen algıli bir sistemin aydınlatma, enerji tüketimi ve ısı konfor üzerine etkisi elverişli gün ışığı aydınlatması (EGA), enerji kullanım yoğunluğu (EKY) ve ısı konfor ihlali (İKİ) göstergeleri üzerinden parametrik analizlerle irdelenmiştir. Bu amaçla, Ankara ikliminde yer alan bir ofisin dış ortama bakan cephesine yerleştirilen cephe elemanının pencere duvar oranı ve üretilen biyokütle miktarına bağlı ışık geçirgenlik değişiminin etkileri değerlendirilmiştir. Grasshopper yazılımı ile oluşturulan bina bilgi modeli, enerji analizleri için Energyplus, aydınlatma analizi için Daysim hesaplamaları Honeybee eklentisi aracılığıyla çalıştırılmıştır. Parametrik çalışma için Calibri eklentisinden yararlanılmıştır. Sonuçta Ankara için en iyi seçenekler ortaya konmuş ve olası alg cephe uygulamaları bu bağlamda tartışılmıştır.

LİTERATÜR

Bina kabuğu, enerji tüketimi üzerinde en önemli etkiye sahiptir ve tasarımcılar tarafından kontrol edilebilir bir faktördür. Binanın yönelimi, biçimi, boyutu, açıklıkların cephedeki konumu ve malzeme seçimi gibi etkenler, bina kabuğu tasarımı ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle, binanın kendisi, ısı iletimi, ısı taşınımı, ışınım, ısı depolama ve güneş ışığı geçirgenliği mekanizmaları aracılığıyla bina kabuğu aracılığıyla çalışır. Binayı etkileyen bu parametrelerin çokluğu tasarımcının karşısına analiz zorluğu olarak çıkar. Bu durum tasarımcının, bina için en uygun parametre değerlerini belirlemek için sıklıkla farklı bilgisayar yazılımları kullanmaya yönlendirmektedir (Bayata ve Temiz, 2017). Özellikle ön tasarım sırasında cephe sistemlerinin enerji tüketimine ve konfor üzerindeki etkilerinin incelenmesi ve optimize edilmesi üzerine çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda Grasshopper ve eklentileri sıklıkla kullanılmaktadır. Örneğin Aksin Sarıyıldız ve Selçuk (2021) Ankara ve İzmir'de ofis mekanlarına farklı cam tipi, gölgeleme, duvar/döşeme/tavan

malzeme olasılıklarının en iyi değerlerini tespit etmek için Octopus optimizasyon eklentisini kullanmıştır. Fang ve Cho ise (2019) Amerika'daki farklı iklim bölgelerinde yapı boyutları, yüksekliği, farklı yönler için pencere duvar oranı ve gölgeleme biçimleri gibi değişkenleri optimize etmiştir. Sankaewthong vd. (2021) ise günışığı optimizasyonunu da hesaba katarak bir kinetik cephe dokusu geliştirmişlerdir. Simülasyon ile çok farklı cephe elemanlarının davranışlarını incelemek mümkündür. Bu çalışmada, içinde mikroalg yetiştirilebilecek pencere olarak tanımlanan fotobiyoreaktör sistemi simülasyon ile incelenecek ve literatürdeki sınırlı da olsa var olan enerji kullanımı ve aydınlatma sonuçları ile karşılaştırılacaktır. Ancak, önerilen eleman hakkında sağlıklı yorumlarda bulunabilmek için önce fiziksel karşılığı ve literatürdeki çalışmalara değinmek gerekmektedir.

Dünya'da ilk bina cephe uygulaması Hamburg Uluslararası Yapı Sergisi için inşa edilen BIQ binasıdır. Burada 2,5 m x 0,7 m ölçülerinde 200 metrekarelik 129 FBR kurulmuştur (Şekil 1a). Kullanılan düz panel elemanlar cephenin üzerinde hareketli ikinci bir cephe olarak kurgulanmıştır ve ısı yalıtımı, sıcak su eldesi ve biyokütle üretimi için bina ile bütünleşmiştir. XTU Mimarlık tarafından önerilen "Fransız Rüyası Kuleleri" ve "In Vivo" projelerinde yine benzer pencere tipi elemanların etkin ısı yönetimi, tıp ve kozmetikte kullanılabilir hammadde üretimi ve karbondioksit yakalamak için kullanımı ön görülmektedir. Fransız biyoteknoloji şirketi Ennesys ve bir Amerikan alg hasat şirketi olan OriginOil tarafından önerilen projede bir yandan atık suyu temizlemek, bir yandan da enerji ürünleri üretmek hedeflenmiştir. Bu gibi kavramsal projelerin yanında 2015'te XTU Mimarlık tarafından Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi 21. taraflar Toplantısı için uygulanan AlgoNOMAD pavyonunda da aynı tip cephe paneli kullanılmıştır (Şekil 1b) (Tokuç, Köktürk ve Savaşır, 2019).



Şekil 1. Düz panel biyokütle üreten cephe uygulamaları (a) Bio binası, (b) Symbio2 Binası (**Kaynak:** (a) Syn.de.Bio, 2014, (b) Symbio2 Biofacades, 2015).

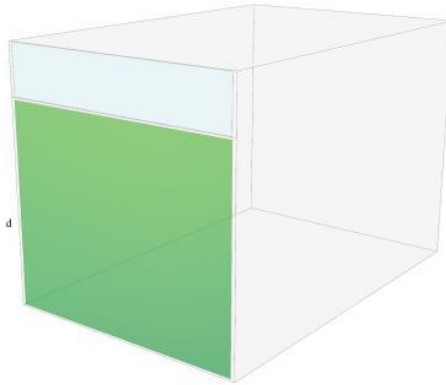
Biyokütle üretimi yapan cephe elemanı ısıl olarak literatürde su duvarı çalışmalarına benzerlik göstermektedir. Kısa süreli ısıl enerji depolama yapabilir. Buna ek olarak ısı yalıtımı ve gölgeleme özellikleri deney düzeneği, simülasyon ve teorik çalışmalar ile değerlendirilmiştir. BIQ binası uygulamasında bir yıllık ölçüm sonuçlarında gerçek ölçekte uygulamanın sonuçlarının ölçümü ile yapının yıl boyunca 150 kWh/m² ısı enerjisi ve 30 kWh/m² biyoenerji ürettiğini tespit etmiştir (Buildup 2015). Elemanın bir pencere sistemi ile karşılaştırılmasında esas olabilecek U-değerini Negev vd. (2019) ise teorik olarak durağan bir yapı elemanıymış gibi hesaplamıştır. Umdü vd. (2018) ise U-değerini deneysel olarak ölçmüş ve teorik sonuçlarla karşılaştırmaları sonucunda en çok etkileyen değişkenin hava tabakası kalınlığı olduğunu belirtmişlerdir.

Uyarlanabilir cephe elemanının dinamik etkisi üretilen mikroalg oranına bağlı olarak günışığı üzerinde görülebilmektedir. Alg türlerinin renklerinin ve kompozisyonlarının farklı olduğu bilinmektedir. Bu kapsamda, farklı büyüme evrelerindeki ışık geçirgenlik değerleri de değişiklik göstermektedir. Negev vd. (2019) farklı alg konsantrasyonlarında elemanın ışık geçirgenliğini, iki alg türü için hesaplamıştır. Biyokütle yoğunluğu arttığında ışık geçirgenliği azalmaktadır ve sistem ışık aktarımını etkileşimli olarak biyokütle yoğunluğunu düzenleyerek, yani hasat süresini hızlandırarak veya yavaşlatarak kontrol edebilir (Qui, 2013). Ayrıca elemanın hareket etmesi veya farklı pencere-mikroalg üretilen cephe elemanı kombinasyonlarının araştırılması ile de iç ortamdaki ışık seviyelerinin ayarlanabilmesi mümkündür.

Mikroalg türlerinin cephede kullanılmasının farklı çevresel etkileri olabilmektedir. Cephe uygulamalarında mikroalg yetişmesinin optimize edilmesi, karbondioksit biyofiksasyonu, havayı veya suyu temizlemek, kendi kendine yeten sürdürülebilir bina oluşturmak ve gürültüyü azaltmak gibi etkilerin matematiksel model, simülasyon veya deneysel çalışma ile değerlendirildiği çalışmalar da bulunmaktadır. Elemanların faydaları değerlendirilirken maliyeti göz önünde bulundurmamak ve optimize etmek gerekmektedir. Ayrıca, uygulama için ağırlık, montaj, hareket mekanizması, elemanlara besin aktarımı ve hasat gibi teknik konuların da düşünülmesi gerekmektedir (Tokuç, Köktürk ve Savaşır, 2019).

YÖNTEM

Bu çalışma, parametrik modelleme, simülasyon ve performansa dayalı bir tasarım yapabilmek için olası bütün seçeneklerin gözden geçirilmesine olanak sağlayan parametrik bir analizden oluşmaktadır. İliman-kuru iklime sahip Ankara'da yer alan bir ofis binasının cephesine entegre edilen fotobiyoreaktörün binanın günışığı, enerji ve ısı performansları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada Ankara ikliminin seçilmesinin nedeni gece-gündüz ve yaz-kış arasındaki sıcaklık farklarının fazla olması ve bunun parametrelerin etkisinin gösterilmesinde kolaylık sağlayacağı düşünülmesidir. Bu kapsamda çok katlı bir binanın ara katında yer alan, 3,2 x 4,8 x 3,2 metrelik tek bölge çalışmaya alanına sahip bir ofis odası ele alınmıştır. Fotobiyoreaktörü gerçeğe yakın temsil edebilmek için üst kısmı %20 hava boşluğuna sahip bir cephe elemanı kurgulanmıştır (Şekil 2). Çalışma, 3B modelleme yazılımı Rhinoceros'ta ve onun görsel programlamaya izin veren eklentisi Grasshopper üzerinde yapılmıştır. Öncelikle, tasarım değişkenlerine karar verilmesi ve değişken değer aralıklarının oluşturulması ile geometri tamamlanmıştır. Tasarım değişkenleri olarak biyokütleyle bağlı değişen ışık geçirgenliğine (%20, %30, %40, %50, %60, %70, %85, %100) ve pencere-duvar oranına (%10-95 arasında %5 aralıkta değişimlerle) karar verilmiştir.



Şekil 2. Parametrik model geometrisi.

Daha sonra Grasshopper eklentileri olan Ladybug ve Honeybee ile günışığı ve enerji modelleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Burada kara iklimine sahip Ankara'nın uzun yıllara ait iklim verisi tanımlanmıştır. Günışığı modelleme sürecinde, parametrik bina geometrisinde malzemelerin ışık geçirgenliği, yansıtma vb. optik özellikleri belirlenmiştir. Ladybug yardımıyla hava durumu dosyalarının girişi sağlanmıştır. Yerden 80 cm yükseklikteki bir düzlemde 50 cm'de bir günışığı sensörleri yerleştirilmiş ve doluluğa bağlı olarak otomatik karartma ve kapanma şeklinde aydınlatma kontrol sistemi tanımlanmıştır. Diğer simülasyon ayarları

yapıldıktan sonra Radiance motoru ile günışığı simülasyonu çalıştırılmış ve yıllık aydınlatma programı oluşturularak enerji simülasyon modeline bağlanmıştır. Günışığı simülasyonu çıktısı olarak EGA hesaplanmıştır. EGA, günışığı kullanılabilirliğini değerlendirmek için kullanılan en yaygın dinamik ölçümlerden biridir. Günışığının sağladığı aydınlatmanın yararlı bir aralıkta olduğu yıldaki saat sayısının, bir yıldaki toplam çalışma saat sayısına oranıdır (Nabil ve Mardaljevic, 2005). Bu çalışmada, hacimlerde 100 lux'ten küçük olan değerleri yetersiz, 2000 lux'ten yüksek değerleri ise istenmeyen günışığı aydınlığı olarak değerlendirilmiştir.

Enerji modelinde yapı bileşenlerinin malzeme özellikleri ve iklimlendirme sistemleri tanımlandıktan sonra EnergyPlus/Openstudio motoruyla enerji simülasyonu çalıştırılmıştır. Çalışmada biyokütleyle bağlı pencere tanımlamaları için Talaei vd. (2021)'in da temel aldığı Negev vd. (2019) çalışmasında verilen U değeri, güneş ısı kazanım katsayısı (GIKK) ve ışık geçirgenliği (IG) değerleri alınmıştır (Tablo 1). Enerji simülasyonu çıktısı olarak enerji kullanım yoğunluğu hesaplanmıştır. EKY, binalarda enerji kullanımını temsil eden bir ölçü birimidir (Denklem 2 ve Denklem 4). Yıllık ısıtma, soğutma ve aydınlatma yüklerini içerir.

Tablo 1. Farklı konsantrasyonlarda alg pencere sistemi aracılığıyla IG ve GIKK tahminleri (Negev vd., 2019).

Alg Özellikleri	Su	Mikroalg konsantrasyonları (%)								
		20	30	40	50	60	70	85	100	
<i>C.vulgaris</i>	IG	0,84	0,45	0,33	0,17	0,14	0,11	0,08	0,06	0,04
	GIKK	0,82	0,40	0,30	0,20	0,16	0,13	0,11	0,09	0,07

Enerji simülasyon sonuçları elde edildikten sonra ısı konforunun hesaplanması işlemi gerçekleştirilmiştir. Isıl konfor değerlendirmelerinde alg penceresinin ısı kütlesi ihmal edilip sadece pencere içinde sıvı olan çift cam varsayımı üzerinden simülasyonlar yapılmıştır. Isıl konfor Fanger tarafından geliştirilen ortalama ısıl duyum (OID) modeli ile hesaplanmaktadır (Fanger, 1970). OID hesaplamalarında kişisel faktörler ve çevresel faktörler etkilidir. OID, +3 = sıcak ile -3 = soğuk arasında değişen 7 puanlık bir endekste bir grup insanın ortalama oyunu tahmin etmektedir. ISO 7730 konforlu bir ortam için OID değerlerinin ± 0.5 değerleri arasında kalmasını önermektedir (ISO 7730, 2005). Bu çalışmada ısı konfor ihlali Zhang vd. (2021)'in tanımına göre Grasshopper'da Denklem 1'e göre hesaplanmıştır:

$$IKİ = 100 \times \left(\frac{(OID > 0.5 (saat) + OID < 0.5 (saat))}{\text{yıl içindeki toplam saat}} \right)$$

$IKİ$ =ısı konfor ihlali

OID =ortalama ısıl duyum

(Denklem 1)

Buna bağlı tasarım kararının verilmesinde konforsuz saatlerin az olması istenmektedir. Parametrelerin etkilerini daha iyi değerlendirebilmek amacıyla bütün olasılıkların görülebileceği Colibri aracıyla simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Işık geçirgenliği ve pencere duvar oranının enerji, görsel ve ısı konfor üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Çalışmanın devamında analiz sonunda elde edilen bireylerin uygunluk fonksiyonu hesaplanarak sıralanmıştır. Uygunluk fonksiyonu için Konis (2016) tarafından tanımlanan aşağıda gösterilen Denklem 2 kullanılmıştır. Denklem 2; Denklem 3, 4 ve 5'e göre hesaplanmıştır.

$$\text{Uygunluk fonksiyonu} = (EGA_i - EGA_{min}) \times C_1 - (EKY_i - EKY_{min}) \times C_2 - (IKI_i - IKI_{min}) \times C_3$$

EGA= elverişi günüşiği aydınlatması

i=bireyin performans değeri

min=simülasyon sürecinde elde edilen en küçük değeri

maks= simülasyon sürecinde elde edilen en büyük değeri

(Denklem 2)

$$C_1 = 100 \times \left(\frac{1}{EGA_{max} - EGA_{min}} \right)$$

C₁=uygunluk fonksiyonunda bulunan katsayı 1

EGA= elverişi günüşiği aydınlatması

min= simülasyon sürecinde elde edilen en küçük değeri

maks= simülasyon sürecinde elde edilen en büyük değeri

(Denklem 3)

$$C_2 = 100 \times \left(\frac{1}{EKY_{max} - EKY_{min}} \right)$$

C₂=uygunluk fonksiyonunda bulunan katsayı 2

EKY= enerji kullanım yoğunluğu

min= simülasyon sürecinde elde edilen en küçük değeri

maks= simülasyon sürecinde elde edilen en büyük değeri

(Denklem 4)

$$C_3 = 100 \times \left(\frac{1}{IKI_{max} - IKI_{min}} \right)$$

C₃=uygunluk fonksiyonunda bulunan katsayı 3

IKI=ısı konfor ihlali

min= simülasyon sürecinde elde edilen en küçük değeri

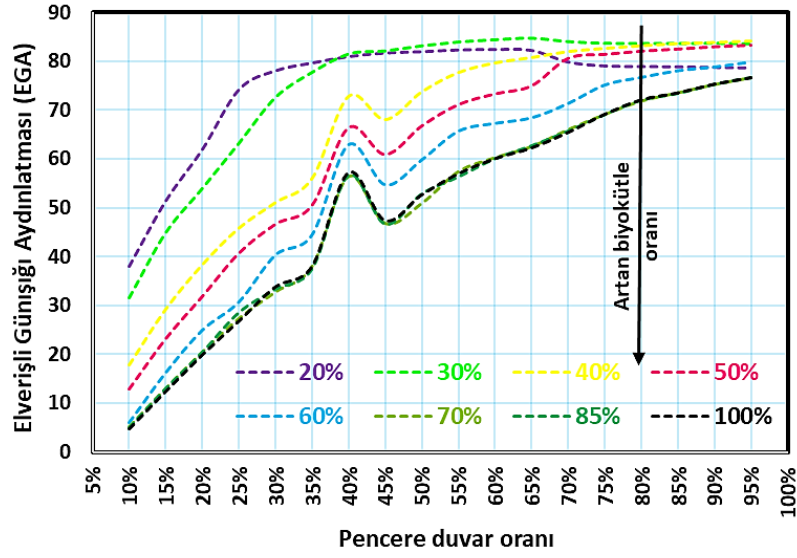
maks= simülasyon sürecinde elde edilen en büyük değeri

(Denklem 5)

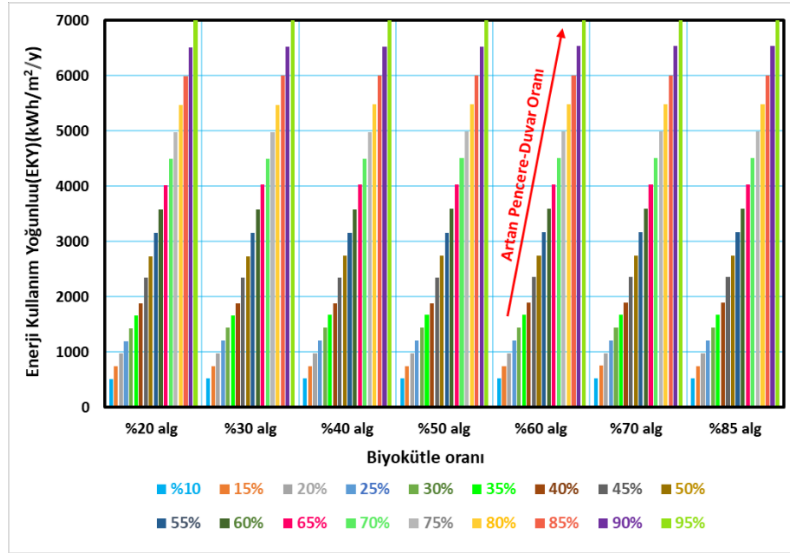
BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

EGA-EKY İlişkisi

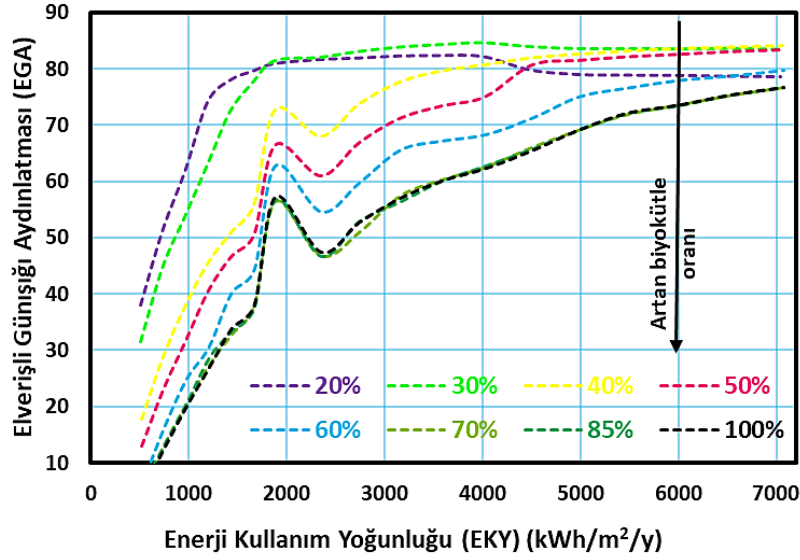
Şekil 3 ve 4'te mekanda biyokütleyle bağlı ışık geçirgenliği ve pencere duvar oranına bağlı olarak EKY, EGA grafikleri verilmiştir. Şekil 5'te ise EGA'nın EKY ile ilişkisi verilmiştir.



Şekil 3. EGA'nın pencere duvar oranına göre performansını gösteren dağılım grafiği.



Şekil 4. EKY'nin biyokütle oranına göre performansını gösteren dağılım grafiği.



Şekil 5. EGA ve EKY'nin performansını gösteren dağılım grafiği.

Pencere duvar oranı açısından değerlendirildiğinde aynı ışık geçirgenliğinde pencere duvar oranı arttıkça EGA'nın ve EKY'nin arttığı görülmektedir. Aynı zamanda Şekil 3'te biyokütle arttıkça ışık geçirgenliği azaldığı için düşük pencere duvar oranında iç mekanda güneşlightinden yararlanan zamanın azaldığı, bu oranın artması için pencere duvar oranının büyümesi gerektiği anlaşılmaktadır. Bu grafikte ayrıca EGA ile pencere duvar oranı arasındaki ilişkinin doğrusal olmasa da genellikle artan bir eğiliminin olduğu görülmektedir. Bu eğilim, Talaei vd., (2021) çalışmasındaki aynı iklim özelliklerine sahip İran'da yer alan ofis binasındaki eğilimle benzerlik göstermektedir. %20 ve 30 biyokütle oranına sahip düşük ışık geçirgenliklerinde %70 pencere duvar oranından sonra iç mekana giren ışığın fazla olmasından dolayı EGA'da bir miktar azalmanın olduğu görülmüştür. Şekil 4'te ise aynı biyokütle oranında pencere duvar oranı ile EKY arasında neredeyse doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Şekil 5, Şekil 3 ile benzerlik göstermekte olup, tasarım amacına bağlı olarak EGA için büyük pencere duvar oranının EKY için ise düşük pencere duvar oranının tercih edilmesi gerektiğini göstermektedir. Fakat düşük pencere duvar oranında ve ışık geçirgenliğinde her iki amacın da karşılandığı durumların olduğu da görülmektedir.

Tablo 2'de en düşük-en yüksek EGA ve EKY değerleri verilmiştir. En düşük EKY değeri en küçük pencere duvar oranı olan %10 ve %20 biyokütle oranında çıkarken, en yüksek EKY değeri ise %95 ve %100 biyokütlerde elde edilmiştir. En düşük EGA değeri çok az ışık geçirmesinden dolayı %100 alg konsantrasyonunda ve küçük pencere duvar oranı olan %10'da elde edilirken, en yüksek EGA değeri ise %30 alg konsantrasyonunda olup %65 pencere duvar oranında elde edilmiştir.

Tablo 2 Colibri sonuçlarına göre en düşük-en yüksek EKY ve EGA verileri.

En yüksek EKY [kWh/m ² /y]		En düşük EKY [kWh/m ² /y]		En yüksek EGA [%]		En düşük EGA [%]	
Pencere duvar oranı	Alg yoğunluğu	Pencere duvar oranı	Alg yoğunluğu	Pencere duvar oranı	Alg yoğunluğu	Pencere duvar oranı	Alg yoğunluğu
%95	%100	%10	Su duvarı	%65	%30	%10	%100
Değer		Değer		Değer		Değer	
7077,69		513,46		84,68		4,79	

Tablo 3'te görüldüğü üzere, uygunluk fonksiyonu uygulandığında en düşük EKY'yi korurken aynı anda mümkün olan en yüksek EGA'yı sağlamak için optimal çözümler, %20, %30 ve %40 alg yoğunluğuna sahip seçeneklerde ortaya çıkmaktadır. Kuzey yönü için en başarılı çözümler, %20 biyokütle miktarında pencere duvar oranı %20-50 arasını, %30 biyokütle miktarında %25-50 arasını ve %40 biyokütle miktarında ise %40 pencere duvar oranını kapsamaktadır. Bu sonuçlar, Talaei vd. (2021) çalışmasındaki sonuçlardan farklı

değerlere sahip olsa da aynı doğrultudadır. Yazarlar, Bsk (soğuk step iklimi) iklime sahip alanda en iyi sonuca kuzey yönünde ulaşmakla birlikte optimal çözümler %20 pencere duvar oranı %20-29'le %30-38 arasında ve %30 alg konsantrasyonunda %31-37 arasında ve %40 biyokütle oranında ise %33 açıklıkta görülmektedir. Acar vd. (2019), bina kabuğu parametrelerinin çok amaçlı optimizasyonunda iki farklı iklim bölgesinde yer alan konut binası için yaptıkları çalışmada soğuk iklimde optimum pencere duvar oranını %30,2 bulmuşlardır.

Tablo 3 En düşük EKY en yüksek EGA hedefine göre uygunluk fonksiyonunun uygulanması.

Pencere-duvar oranı [%]	Alg yoğunluğu [%]	EKY [kWh/m ² /y]	EGA [%]	Uygunluk fonksiyonu
30	20	1428,60	77,97	77,67
25	20	1198,30	74,12	76,35
35	20	1659,08	79,56	76,14
40	30	1878,17	81,44	75,16
40	20	1875,53	80,87	74,49
35	30	1661,63	77,66	73,73
30	30	1430,95	72,53	70,82
45	30	2342,26	82,06	68,87
45	20	2338,96	81,61	68,35
20	20	968,74	61,90	64,55
50	30	2729,36	83,10	64,28
40	40	1882,55	72,74	64,20
50	20	2725,79	81,87	62,79
25	30	1200,63	63,14	62,58

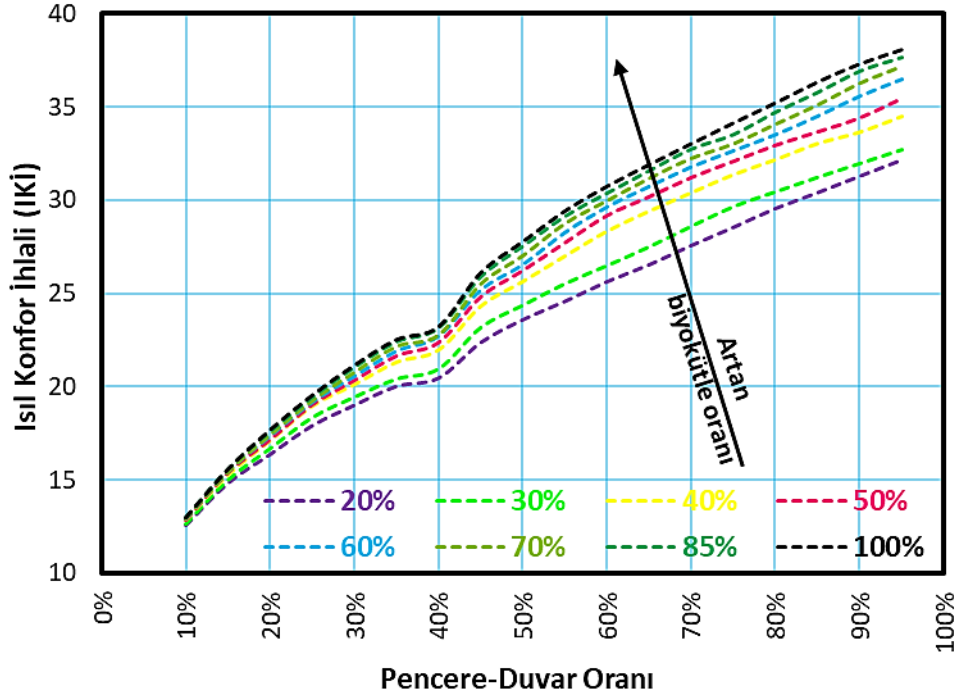
EGA, EKY ve İKİ ilişkisi

Bu çalışmada İKİ oranı %13-38 arasında değişen değerlerde çıkmıştır. İKİ'nin %10'nun altında olduğu durumlar kuzey yöneliminde bulunamamıştır. Uygunluk fonksiyonunda EGA'nın en yüksek, İKİ'nin ve EKY'nin en düşük hedeflendiği durumlar hesaplandığında sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir. En iyi seçenekler %20 alg konsantrasyonunda olup sırasıyla %25 ve %30 pencere duvar oranlarındadır. Bu tabloda uygunluk fonksiyonunun %50'nin üzerinde olduğu durumlar alınmıştır.

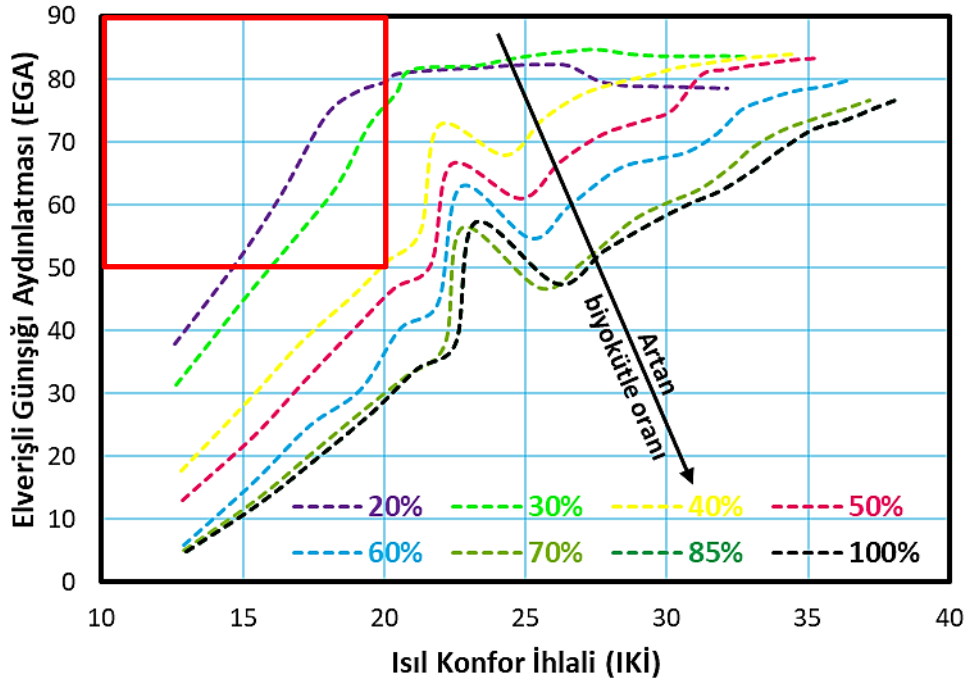
Tablo 4. En düşük EKY, en düşük İKİ ve en yüksek EGA hedefine göre uygunluk fonksiyonunun uygulanması.

Pencere-duvar oranı [%]	Alg yoğunluğu [%]	EKY [kWh/m ² /y]	EGA [%]	İKİ [%]	Uygunluk fonksiyonu
25	20	1198	74	18	55,40
30	20	1429	78	19	52,42

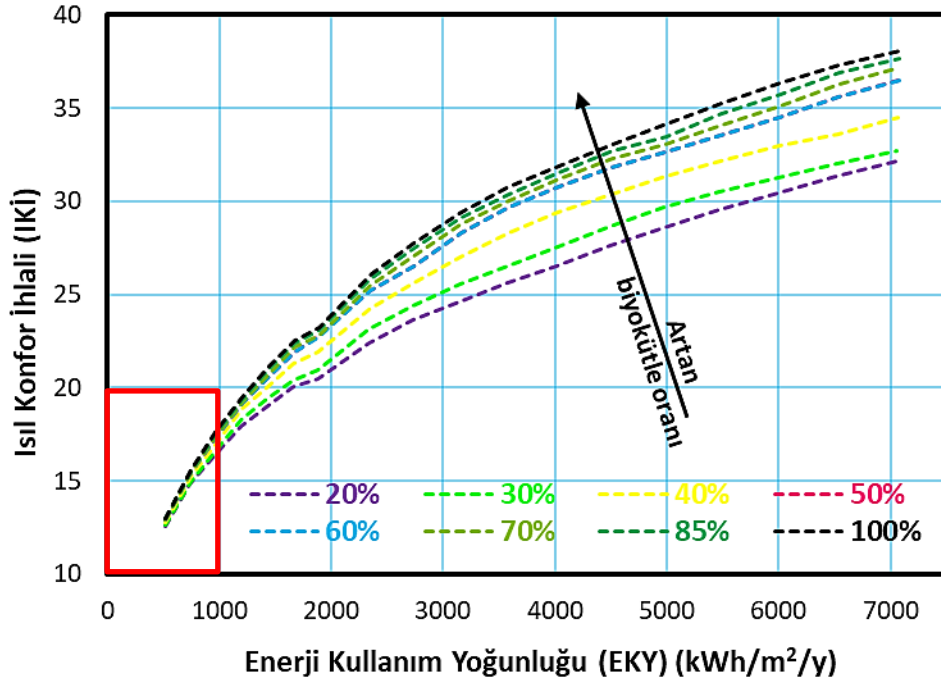
Şekil 6'da İKİ'nin pencere-duvar oranına bağlı değişim sonuçları görülmektedir. Pencere duvar oranı arttıkça konforsuz olduğu durumların da arttığı görülmektedir. İKİ'nin %10-15 arasında olduğu seçeneklerin bulunduğu fakat bu durumlarda EGA'nın %50'nin altında olduğu görülmüştür. Ayrıca konforsuzluk arttıkça ortamı konforlu hale getirmek için EKY'nin de arttığı görülmüştür. En iyi seçenekler Şekil 7 ve 8'de kırmızı ile işaretlenen bölgede yer almaktadır.



Şekil 6. IKİ'nin pencere duvar oranına bağlı performansını gösteren dağılım grafiği.



Şekil 7. EGA ve IKİ'nin performansını gösteren dağılım grafiği.



Şekil 8. EKY ve IKI'nin performansını gösteren dağılım grafiği.

SONUÇ

Bu çalışmadan görüldüğü üzere, ön tasarım sürecinde tasarımcının sağlıklı karar vermesine yardımcı olmak için simülasyon yardımıyla farklı çözüm alternatifleri sunulmaktadır. Çünkü, simülasyon araçlarının kullanılmasıyla çevreye duyarlı hedefler geliştirmek ve bina tasarım süreci için en etkili kararlar ilk aşamada alınmaktadır. Özellikle, uyarlanabilir cephe tasarımı ile yapı çevrede kaynak ve enerji tüketiminin azaltılması hedeflendiğinde, simülasyon araçları pek çok parametrenin etkisinin değerlendirilmesine yardımcı olmaktadır. Bu süreçte, önerilen cephe elemanı için en kaliteli güneş ışığı seviyesini sağlayan, bir binanın en az yıllık enerji talebini elde eden ve kullanıcıya en iyi ısı konforu sunan alternatiflerin belirlenerek optimum pencere duvar oranı ve biyokütle üretim miktarının araştırılması amaçlanmıştır.

Doğal güneş ışığına daha fazla güvenerek enerji tüketimini ve maliyetlerini azaltmak ve insan ısı performansını iyileştirmek gibi faydalar, tasarım sürecinin erken aşamalarında makaledeki parametrik incelemeler göz önünde bulundurularak elde edilebilir. Sonuçlar, yeni bir yaklaşım olan biyokütle üreten cephe sistemlerinin tasarım sürecinde tasarımcıya bir alternatif pencere elemanı olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Böylece, bu çalışmada, tasarımcılar için uyarlanabilir ve daha etkili bir mikroalg içeren cephe elemanında mikroalg etkisi ortaya konulmuştur.

Bu çalışmada, önerilen cephe elemanının Ankara'da bir ofis örneği üzerine uygulanmasıyla elde edilen temel unsurun güneş ışığı ile enerji tüketimi arasında güçlü bir ilişkinin olduğunun görülmesidir. Gelecek çalışmalarda, yapı kabuğunu tanımlayan mimari tasarım parametrelerinin ve yapı malzemesi özelliklerinin optimize edilmesi ile enerji tüketimi, güneş ışığı parametreleri ve ısı konforun en iyi olduğu tasarım alternatifleri kümesi belirlenebilecektir. Tasarımcılar, söz konusu simülasyon araçlarını kullanarak ön tasarım karar verme sürecinde makaledeki bilgilerden faydalanabilirler. Simülasyon süreciyle özel tasarımlarına yönelik farklı tasarım alternatifleri elde edebilirler.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 218M580 numaralı araştırma projesi kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar değerli görüşleri ve katkılarından dolayı proje ekibinde yer alan Doç. Dr. Mehmet Akif Ezan'a, Doç. Dr. İrem Can Deniz'e, Nilay Altunacar'a ve makalenin kalitesinin yükseltilmesinde değerli yorumlarını paylaşan anonim hakemlere teşekkür eder.

KAYNAKÇA

- Acar, U., Kaska, O. ve Tokgoz N. (2020). Multi-objective optimization of building envelope components at the preliminary design stage for residential buildings in Turkey. *Journal of Building Engineering*, 42, 102499.
- Aksin, F. N. ve Arslan Selçuk S. (2021). Use of simulation techniques and optimization tools for daylight, energy and thermal performance: a case on office module(s) in different climates, *39th eCAADe Conference*, Novi-Sad, Sırbistan, 8-10 Eylül 2021.
- Antonini, E., Boeri, A., ve Giglio, F. (2021). Classification criteria and markers for biomimetic building envelope within circular economy principles: a critical review. *Architectural Engineering and Design Management*, 1-23.
- Bayata, Ö. ve Temiz, İ. (2017). Developing a Model and Software for Energy Efficiency Optimization in the Building Design Process: A Case Study in Turkey. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 25, 4172-4186.
- Bobylev, S. N. ve Solovyeva, S. V. (2017). Sustainable development goals for the future of Russia. *Studies on Russian Economic Development*, 28(3), 259–265.
- Bleischwitz, R., Spataru, C., VanDeveer, S.D., Obersteiner, M., van der Voet, E., Johnson, Andrews-Speed, P., Boersma, Hoff, H. ve Vuuren, D. P. (2018). Resource Nexus Perspectives towards the United Nations Sustainable Development Goals. *Nature Sustainability*, 1(12), 737–743.
- BuildUp (2015). The BIQ House: First Algae-Powered Building in The World. Web adresinden 21 Eylül 2020 tarihinde erişildi: <http://www.buildup.eu/en/practices/cases/biq-house-first-algae-powered-buildingworld>
- Fang, Y. ve Cho, S. (2019). Design optimization of building geometry and fenestration for daylighting and energy performance. *Solar Energy*, 191, 7–18.
- Fanger, P. O. (1970). Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering. Danish Technical Press, Copenhagen, Denmark.
- ISO 7730. (2005). Ergonomics of the thermal environment-Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. International Organization for Standardization.
- Kale, İ. ve Tokuç, A. (2021). Uyarlanabilir materyallerin sürdürülebilirlik potansiyelleri: yapı kabuğu uygulamaları. M. Dal (Der.), *Mimarlık bilimlerinde araştırma ve uygulamalar-I* içinde (ss. 81-102). Livre de Lyon.
- Konis, K., Gamas, A. ve Kensek, K. (2016). Passive performance and building form: An optimization framework for early-stage design support. *Solar Energy*, 125, 161–179.
- Nabil, A. ve Mardaljevic J. (2005). Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors. *Energy and Buildings*, 38, 905–913.
- Negev, E., Yezioro, A., Polikovskiy, M., Kribus, A., Cory, J., Shashua-Bar, L., ve Golberg, A. (2019). Algae window for reducing energy consumption of building structures in the Mediterranean city of Tel-Aviv, Israel, *Energy and Buildings*, 204, 109460.
- Özkaban, F. A., Altun, T. D. A., Tokuç, A., Çakır, Ö. A., Köktürk, G. ve Şendemir, A. (2020). Mimarlığın Doğa ile ilişkisinde Yeni Bir Boyut: Biyotasarım. *Yapı Dergisi*, 48-53.
- Pons-Valladares, O. ve Nikolic, J. (2020). Sustainable Design, Construction, Refurbishment and Restoration of Architecture: A Review. *Sustainability*, 12(22), 9741.
- Qui F (2013) Algae architecture, (Yüksek lisans Tezi), Delft University Web adresinden 23.12.2021 tarihinde erişildi: <http://repository.tudelft.nl/view/ir/uuid:b0b6e05d-49d8-4cc0-9e28-f510b0a8b215/>.
- Sankawthong, S., Horanont, T., Miyata, K. ve Karnjana, J. (2021). Designing a Facade by Biomimicry Science to Effectively Control Natural Light in Buildings (Glare analysis). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1148(1).
- Symbio2 Biofacades (2015). Symbio2 Biofacades [Fotoğraf]. Facebook Web sitesinden 10 Aralık 2021 tarihinde erişildi: <https://www.facebook.com/symbio2.biofaca-des/>
- Syn.de.Bio (2014). BIQ – The Algae House by SPLITTERWERK. [Fotoğraf] Syn.de.Bio Web sitesinden 20 Kasım 2021 tarihinde erişildi. <http://syndebio.com/biq-algae-house-splitterwerk/>

- Talaei, M., Mahdavejad, M., Azari, R., Prieto A., ve Sangin, H. (2021). Multi-objective optimization of building-integrated microalgae photobioreactors for energy and daylighting performance. *Journal of Building Engineering*, 102832.
- Tokuç, A., Köktürk, G. ve Savaşır, K. (2019). Alglerle Yeşeren Cepheler. *Mimarlık* 408, 59-63.
- Umdu, E. S., Kahraman, İ., Yildirim, N. ve Bilir, L. (2018). Optimization of microalgae panel bioreactor thermal transmission property for building façade applications. *Energy and Buildings*, 175, 113–120.
- Zhang, T., Baasch, G., Ardakanian, O. ve Evins, R. (2021). On the Joint Control of Multiple Building Systems with Reinforcement Learning. *Proceedings of the Twelfth ACM International Conference on Future Energy Systems*, Italy, 28 Haziran–2 Temmuz 2021.