

EĞİTİM YAPILARINDA DİKEY YEŞİL SİSTEM ENERJİ ANALİZ SİMÜLASYONU: ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

Ülkü ŞİMŞEK ŞENGÜL*, Özlem ŞENYİĞİT SARIKAYA²

¹Mimarlık Bölümü / Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin Üniversitesi, Türkiye

²Mimarlık Bölümü / Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Türkiye

*(ulkusimsek@mersin.edu.tr)

Özet – Günümüzde artan çevre kirliliği ile gündemimize oturmuş olan sürdürülebilirlik kavramı, önemini giderek arttırmaktadır. Yeni nesillere yaşanılabilir bir ekosistem bırakmak için yapılması gereken konular kapsamında bireylere gerekli eğitimin verilmesi şarttır. En iyi eğitim uygulamalı eğitimidir. Kişi bulunduğu çevrede gördüğü, dokunduğu, hissettiği yani bütün algılarıyla yaşadığı kavramı içselleştirebilir. Bu durumda eğitim yapılarının sürdürülebilir mimarlık hedefleriyle inşa edilmesi sürdürülebilirlik kavramını genç nesillere aşılacak açıdan önemli bir adımdır. Son yıllardaki teknolojik gelişmelerle birlikte sürdürülebilir tasarım konusu kapsamında, dikey yeşil sistemler önemli bir yer almış ve sürdürülebilir tasarım hedeflerine ulaşmada katkı sağladığı ortaya konmuştur. Bu sistemlerin okul yapılarında uygulanmasının, deneyimlenebilir oluşları nedeni ile öğrencilere sürdürülebilirlik kavramını anlatmada kolaylık sağlayacağı düşünülmektedir. Çalışmada dikey yeşil sistemlerin sağladığı yararlar; kentsel ısı adası etkisinin azaltılması, hava kalitesinin artırılması, gürültünün soğurulması ve enerji tasarrufu sağlama bağlamında ele alınmıştır. Dikey yeşil sistem analiz edilmiş ve dikey yeşil sistemlerin eğitim yapılarında uygulandığı örnekler incelenmiştir. Dikey yeşil sistemlerin enerji korunumu kapsamında sağladığı yararları verilerle ortaya koyabilmek için Adana Çukurova Üniversitesi’nden seçilen eğitim binalarına dikey yeşil sistem uygulandığı varsayımıyla enerji analizi yapılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda dikey yeşil sistemlerin sağladığı enerji tasarrufu sayısal verilerle ortaya konmuş ve çevreye yararlı bir dikey yeşil sistem uygulaması için dikkat edilmesi gereken kriterler açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilir Mimarlık, Dikey Yeşil Sistem, Eğitim Yapıları, Enerji Analizi

I. GİRİŞ

Günümüzde, çevre kirliliği ve bozulan doğal dengeler tüm dünya ekosistemini tehdit etmektedir. Sahip olduğumuz pek çok kaynağın gelecekte var olup olamayacağı farklı bakış açılarıyla ele alınmakta ve tartışma konusu olmaktadır. Bu kapsamda “sürdürülebilirlik” ve “sürdürülebilir mimarlık” kavramları gündeme gelmektedir. Sürdürülebilirlik, insan ihtiyaçlarına sağlık ve doğal sistemlerin üretkenliğini azaltmadan uyum sağlayan bir dengeyi ifade etmektedir [1]. AIA (American Institute of Architects) sürdürülebilirlik kavramını: “toplumun geleceğe doğru işlerliğine, sistemin ihtiyacı olan temel kaynakların tükenmesi veya aşırı yüklenmesi doğrultusundaki dengesinin

bozulmadan devam etmesi” olarak tanımlamıştır [2].

Doğanın dengesinin bozulmadan devam etmesi, korunması ve gelecek nesillere yaşanılabilir şekilde aktarılabilmesi için yapılması gereken konular kapsamında bireylere gerekli eğitimin verilmesi şarttır. Bunun sağlanması için ilk önce bilinçli bireyler yetiştirmeyi amaç edinen eğitim politikaları oluşturulmalıdır. Sonrasında sürdürülebilirlik konusunun eğitim müfredatına eklenmesinin ötesine geçilip, eğitim yapılarının kendisinin de sürdürülebilir hedefler doğrultusunda tasarlanması gereklidir. Sürdürülebilir tasarım hedefleri, doğal havalandırma ile hava kalitesini artırma, enerji verimliliği sağlama, atık yönetimi yapabile, su korunumu sağlama gibi hedefler

içermektedir. Son yıllardaki teknolojik gelişmelerle birlikte sürdürülebilir tasarım konusu kapsamında, dikey yeşil sistemler önemli bir yer almış ve sürdürülebilir tasarım hedeflerine ulaşmada katkı sağladığı ortaya konmuştur. Bu sistemlerin okul yapılarında uygulanmasının, deneyimlenebilir oluşları nedeni ile öğrencilere sürdürülebilirlik kavramını anlatmada kolaylık sağlayacağı düşünülmektedir.

Dikey yeşil sistemlerin yapıya uygulandığı takdirde sürdürülebilirlik açısından faydaları şu şekilde özetlenebilir: Çevre sıcaklık ortalamasını azaltıp mikroklimayı düzenler ve rüzgar hızını azaltır, güneş radyasyonunu emer, buharlaşmanın etkisi ile bitkiler güneş ışınımını azaltabilir bu da nem seviyeleri ve yüzey sıcaklıklarını düzenler. Ayrıca, bitki örtüsü bina enerji tasarrufu sağlar. Bu nedenlerle çalışmada; çevre sorunlarını göz ardı etmeyen, sürdürülebilir eğitim binası tasarımı desteklenmiş ve dikey yeşil sistemlerin eğitim yapılarına uygulandığı takdirde sağladığı faydalar incelenmiştir. Çalışmada bu sistemlerin eğitim yapıları üzerinde ısıtma ve soğutma yüklerine etkisi ve enerji performansları da değerlendirilmektedir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Dikey yeşil sistemlerin ısıtma soğutma yükleri ve enerji etkinliklerinin değerlendirildiği bu çalışmada;

1. Dikey yeşil sistemlerin özelliklerinin, katmanlaşma modellerinin ve malzemelerinin tanıtılması, ekolojik bağlamda değerlendirilmesi ve örneklerin incelenmesi amacıyla literatür incelenmiş,
2. Adana iklim bölgesi için geliştirilen dikey yeşil sistem ve seçeneklerinin ısıtma soğutma yükleri ve enerji tüketimlerini belirlemek üzere bilgisayar enerji analiz programı kullanılmıştır.

Günümüzde yeşil cephe uygulamalarının ekolojik sorunları çözümenin etkili bir yolu olarak, şehirlerde insan ve doğa arasındaki çatlakları kapatmak için önemli bir yol haline gelmektedir. Bu bağlamda çalışmada eğitim yapılarında enerji performansı değerlendirmesi üzerine dikey yeşil sistem uygulama simülasyonu yapmak amacıyla

BIM platformunda Revit programı kullanılmış ve uygulama aşamaları aşağıda verilmiştir:

- Uygulanacak mahal modelinin belirlenmesi
- Seçeneklerin oluşturulması ve parametrelerin Revit'e tanıtılması
- Seçenekler için ısıtma ve soğutma yüklerinin hesaplanması
- Seçeneklerin toplam enerji yüklerinin hesaplanması

Program aracılığıyla elde edilen bulguların karşılaştırmalı tablolar ile tartışılması amaçlanmıştır.

A. *Sürdürülebilir Mimarlık*

“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 ve bulunduğu alanı etkin şekilde kullanan, insanların sağlık ve konforunu koruyan yapılar ortaya koyma faaliyetlerinin tümüdür” [3]. Başka bir tanımla sürdürülebilir mimarlık “Besin ya da kaynak tüketimini en aza indiren mimari tasarıma doğal kaynakların uygunluğunu artırmak için bir yaklaşımdır” [4]. Bir mimar projelendirme aşamasından itibaren tüm süreçlerde tasarladığı yapının çevresel etkilerini göz önünde bulundurarak karar vermelidir. Bu doğrultuda sürdürülebilir yapı tasarımı belirli kriterlerle yapılmaktadır. Bu kriterler:

- Yapısal varlık oluşturması
- Yaşam kalitesini artırması
- Konforlu ve estetik olması
- Toplumun fakir kesimi için konut mülkiyeti ediniminin sağlanması
- Toplu yapım süreçlerinin desteklenmesi
- Biyolojik çeşitliliği engellememesi
- Çevreye en az etki göstermesi
- Hafif, güvenilir ve sağlıklı olması
- Değişen çevre ve sosyal durumlar karşısında dayanıklı olması
- Yöresel yapım, bakım, onarımı ve güvenli bir şekilde yok edilmesi
- Hizmet ömrü sonunda kolayca geri dönüştürülebilmesi ya da tekrar kullanılabilmesi
- Enerjinin ve malzemenin etkin kullanılması

- Kullanılan malzemelerin güvenli olmasıdır [5,6].

B. Sürdürülebilir Mimarlıkta Dikey Yeşil Sistemler

Yeşil duvarlar kavramı, çeşitli bitki türleri ile dikey bir yüzeyin (örn. Cepheler, duvarlar, kör duvarlar, bölme duvarları, vb.) yeşilleştirilmesine olanak sağlayan tüm sistemleri ifade eder [7]. Günümüzde yeşil sistemler sadece bitkiyle kaplanmış yeşil yüzeyler değildir. Yeşil sistemler, kentteki yeşillik ölçüğünü arttırabilen pasif soğutma sistemleri olarak kullanılan yeşil duvar ve çatılardır. Yeşil duvarlar ve çatılar, tüm kentsel çevrede bitkilendirmeye katkıda bulunur.

• Dikey Yeşil Sistem Tasarım Kriterleri

Yeşillendirme sistemlerinin tasarımında, bina ile entegrasyon, sürdürülebilir bir malzeme seçimi, çevresel etki ve büyüme ortamı ile bitki örtüsü arasındaki sembiyoz, maliyetlerle ilgili ekonomi ve buna bağlı olarak potansiyel tasarruflar gibi birçok husus dikkate alınmalıdır [8]. Bunların yanında dikey yeşil sistem tasarımında dikkat edilmesi gereken en önemli husus yapının cepheye ilişkin özellikleridir. Uygulanacak dikey yeşil sistemde iklime uygun bir tasarım yapılabilmesi için cepheye ilişkin parametrelerin bilinmesi ve buna uygun tasarım yapılması önemlidir. Cephenin doluluk boşluk oranı, teraslı olup olmadığı, diğer bina cephelerine göre konumu, cephe yönü, cephe kabuğunun özellikleri, cephede uygulanan güneş kontrolü cepheye ilişkin parametrelerdir.

Binanın cephe özelliklerinde teraslı ve çok pencereli olması bazı dikey yeşil sistem uygulamalarına izin vermeyecektir. Bina kabuğunun strüktür onarımı mümkün olsun olmasın, teraslı ve çok pencereli cephelerde yaşayan duvar uygulaması yapılamamaktadır. Yaşayan duvar sistemleri prefabriktir ve cephede konumlandırılması için arkasında duvar desteğine ihtiyaç vardır. Ayrıca bu tip teraslı cephelerde yaşayan duvar sisteminin bir parçası olan sulama sisteminin konumlandırılması ve gizlenmesi sorun yaratacaktır. Bunun yerinde teraslı ve çok pencereli cephelere toprakta ya da saksıda köklenen yeşil cephe uygulamaları daha uygun olacaktır. Yeşil cephe tiplerinden kablo, tel, örgü, ağ sistemi ya da modüler kafes sistemi uygulanabilir. Bu sistemlerin

binaya mikroklimatik yararları pencereleri gölgeleme, hava sıcaklığını azaltma ve yüzey ısısını azaltma şeklinde olacaktır.

• Dikey Yeşil Sistemlerin Sınıflandırılması

Dikey yeşil sistemlerin literatürde strüktür yapılarına, uygulama yerlerine, büyüme ortamlarına ve bitki türlerine göre çeşitli sınıflandırmaları mevcuttur.

Farklı kriterler gözetilerek sınıflandırılan tüm dikey yeşil sistem türlerinin incelenmesi neticesinde dikey yeşil sistemlerin gruplamaları, uygulama şekilleri, strüktürel yapıları ve bitki türlerine göre sınıflandırmaları; ileride yapılacak çalışmalara yol göstermesi amacıyla bir araya getirilerek bütüncül bir çizelge oluşturulmaya çalışılmıştır (Tablo 1).

DİKEY YEŞİL SİSTEMLER	YEŞİL CEPHE	Uygulama şekline göre	Modüler Kafes Panel Sistemler
			Kablo ve Tel, Örgü, Ağ Sistemler
	Cepheye sabitleme ilkesine göre	Doğrudan	Toprakta köklenen doğrudan sistemler Saksıda köklenen doğrudan sistemler
		Dolaylı	Toprakta köklenen dolaylı sistemler Saksıda köklenen dolaylı sistemler
	YAŞAYAN DUVAR (LWS)	Bitki büyüme ortamına göre	Gevşek (sabit olmayan) ortam
			Mat (hasır tipi) ortam
			Yapısal (strüktürel) ortam
	Uygulama şekline göre	Modüler Yaşayan Duvar	
		Bitkilendirilmiş Hasır Duvar	
	Alt katman malzemesine göre	Biyolojik Filtrasyon	
Peyzaj Duvarları			
Saksıda Bitkilendirilmiş Sistemler			
Köpük Katmanlı Sistemler Keçe Katmanlı Sistemler Mineral Yün Katmanlı Sistemler			
BİTKİLENDİRİLMİŞ DUVAR	Doğal Bitkilendirme		
	Bitkilendirilmeye Uygun Duvar Paneli Uygulaması		
UYGULAMA YERİNE GÖRE	İç Mekan Dikey Yeşil Sistemler		
	Dış Mekan Dikey Yeşil Sistemler		
STRÜKTÜREL YAPISINA GÖRE	Serbest Dikey Yeşil Sistemler		
	Entegre Dikey Yeşil Sistemler		
BİTKİ TÜRÜNE GÖRE	Çalı türü Bitki Kullanılan Dikey Yeşil Sistemler		
	Tırmanıcı- Sarıncı Bitki Kullanılan Dikey Yeşil Sistemler		

Tablo 1. Dikey yeşil sistem sınıflandırması [9].

C. Eğitim Yapılarında Sürdürülebilirlik

Okulların sahip olması istenen çevresel koşulların tanımlandığı son yıllardaki çalışmalarda, sürdürülebilir tasarımın önemine dikkat çekildiği görülmektedir. Sürdürülebilir tasarım prensiplerinin benimsendiği okul binalarında gün ışığı kullanımı, temiz hava, düşük kirlenme oranı olan malzemelerin kullanılması açısından getirilen tanımlar

çerçevesinde, çocuklar için daha sağlıklı ve üretici bir ortam oluşturulabileceği düşünülmektedir. Okulların termal olarak konforlu; temiz hava, gün ışığı ve manzarayla ilişki kurulan; öğrenmeyi destekleyen akustik koşullara sahip; spor olanakları sağlayan; çevreyi bir öğrenme kaynağı olarak kullanabilen; iyi içme suyu elde edebilen; arkadaşlığı ve sosyal gelişimi destekleyen sosyal olanaklar sağlayan; bireysel güvenliğe duyarlı bir şekilde tasarlanması gerektiği vurgulanmaktadır. Sürdürülebilir okul tanımıyla, genel olarak, enerji ve su korunumu, çöpün minimize edilmesi, potansiyel kirleticilerden uzaklaşma, doğal yaşamı koruma ve destekleme, maddi kaynakların etkin kullanılması, insanların katılımına saygı duyulması boyutları ele alınmaktadır [10].

Ekonomik ve çevresel faydalar sağlayan ve aynı zamanda öğrenci sağlığını ve öğrenimini olumlu yönde etkileyen sürdürülebilir eğitim binaları tasarlamak, işletmek ve sürdürmek için çeşitli kriterler vardır [11]. Bu kriterler aşağıdaki gibidir:

- Tarım ilacı kullanımını azaltan ve öğrenciler için açık havada bir öğrenme ortamı sağlayan sürdürülebilir alan planlaması ve peyzaj tasarımı.
- Öğrenci ve öğretmen konfor düzeylerini artıran, hava akımı sağlayacak şekilde konumlanmış pencereler ile yüksek yalıtımı değeri olan bina kabuğu tasarımı.
- Öğrenci performansını iyileştiren ve konfor seviyelerini artıran, gün ışığı kullanımına maksimum düzeyde olanak sağlayan aydınlatma tasarımı
- Yeterli hava filtreleme ve değişim sistemlerinden gelen iyi iç mekan hava kalitesinin sağlanması ve toksinleri, alerjenleri ve diğer zararlı kirletici kaynakları ortadan kaldıran yasakların getirilmesi. Örneğin; binaların yakınında çalışan otobüslerin veya dağıtım kamyonlarının yasaklanması. Okul çevresindeki araçların doğal gaz, biyodizel, metanol veya güneş enerjili, elektrikli otobüslerin dahil edilmesi de zararlı emisyonları azaltacak ve okul içinde ve çevresinde hava kalitesini artıracaktır. [12].

- Sessiz ve verimli bir şekilde çalışan ve öğrencilerin öğrenmesinde gürültü yaparak dikkat dağıtmayan ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerinin tasarımı ve bakımı. Tipik bir sınıfın boyutu için bu oldukça önemlidir, çünkü havalandırma gürültüsünün etkisi, spor salonu gibi büyük bir alana etkisinden daha büyük olacaktır [13].
- Alternatif enerji kaynaklarına öğrencilerin ilgisini artırmak için bir öğretim aracı olarak kullanılabilen fotovoltaik gibi yerinde yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı.

D. Eğitim Yapılarında Sürdürülebilirlik Bağlamında Dikey Yeşil Sistemler

1990'lı yıllardaki önemli gelişme, yeşil bina veya yüksek performanslı bina kavramlarının ortaya çıkmasıdır. Bu dönemde, yeni bir yeşil bina derecelendirme sistemi LEED 1998 yılında kurulmuştur ve 2000'li yılların başında hızla büyümüştür. LEED kurumu, büyük ölçüde yeni okul tasarımı ve inşasıyla ilgili standartları ortaya koymuştur. Doğal kaynakların korunumu, çevreye ve iç ortam kalitesine duyarlı yaklaşımı dikkat çekmiş ve yeniliklere yol açmıştır. Enerji tasarrufu çabaları, önceki dönemlerde olduğu gibi 1990'lı yıllarda daha da hız kazanmıştır. Binanın fiziki ve teknik ihtiyaçlarına göre bina sakinlerinin (öğrenci, personel) etkileri, enerji tüketiminin davranış yönleri ele alınmıştır. 1990'lı ve 2000'li yıllara geçildiğinde yüksek performanslı eğitim yapılarına ilgi giderek artmıştır. LEED ve CHPS gibi derecelendirme sistemleri tarafından küçük çaplı yenilenebilir enerji sistemlerine (özellikle solar panel sistemleri) teşvikte bulunulmuştur. LEED sertifikalı binaların güvenilirliğinin araştırılması ve yeşil bina kavramına vurgu yapılması amacıyla, ülkeler enerji performansı ölçümleri yapmaya başlamıştır [14].

Endüstri kuruluşları tarafından, sınıfların ısıtma, ventilasyon ve hava kalitesi hakkında temel ihtiyaçları araştırmış ve zihinsel aktivitelerin gerçekleştirilmesi için;

- Sınıfların nem oranının yüzde 40-70 arasında olması
- Sıcaklıkların 68-75 F (≈20-24 C) seviyelerinde olması

- CO2 seviyelerinin düşük tutulması için 1.000 ppm ve 1.500 ppm seviyelerinin korunması gibi birtakım kararlar alınmıştır.

Eğitim yapılarında astım vakalarının artması üzerine hava kirletici partikülleri ve etkileri ile ilgili araştırmaları 1990 yılında ASHRAE tarafından yapılmıştır. ASHRAE, açık hava kaynağıyla, iç hava kalitesini öğrenci performansına bağlantı kurarak, kişi başı havalandırma oranını 10 cfm (minimum) olarak kabul etmiştir [15].

Hava kalitesinin bu denli önemli olmaya başlamasıyla dikey yeşil sistem kavramı eğitim yapıları için de önem kazanmıştır. Örnekler incelendiğinde 2000’li yıllardan sonra eğitim yapıları üzerinde uygulamaları görülen sistemler, yukarıda bahsedilen yeşil bina derecelendirme kuruluşları tarafından da bir ölçüt olmuştur. 2011 yılında inşaa edilen Amerika’daki Drew School’un ek binası 160 metrekarelik yaşayan duvar sistemi ile ilk LEED gold sertifikalı okullardan biridir (Şekil 1).



Şekil 1. Leed Gold Sertifikalı Okul Drew School-Kaliforniya (Url -1)

Yukarıdaki açıklamalardan da anlaşılacağı üzere iç çevre kalitesi ve enerji tasarrufu yüksek performanslı eğitim yapıları için en önemli iki kriter olmuştur. Dikey yeşil sistemler bu iki parametreyi sağlamada önemli rol oynamaktadır. Özetle sağladığı faydalar şunlardır:

- Gürültü soğurucu etkisiyle ders işlenmesi için gereken akustik konforun sağlanması,
- Zararlı gazların emilimi ve oksijen dengesini yeterli seviyede tutmasıyla iç hava kalitesi sağlanması,

- Enerji verimliliği sağlayarak eğitim yapısının ısı konforuna destek sağlaması,
- Yeşili, bitkiyi ders ortamına entegre ederek ve öğrenci psikolojisi üzerinde olumlu etkiler sağlaması,
- Öğrencilere farklı bitki ve böcek türlerini incelemek için bir eğitim alanı olarak da kullanabilecekleri bir alan sağlamak.

Yeşil bir duvarın pasif sağlık yararları ile bağlantılı olarak, proje tabanlı müfredat modelleri; öğrencileri iç mekan içerisindeyken de doğa ile etkin şekilde ilişkilendirebilir ve bu öğrenme ortamı sayesinde bilim, teknoloji, mühendislik, sanat ve matematik alanlarıyla ilgili gerçek dünya düşüncesine ilham verme potansiyellerini açığa çıkarabilir. Bu sayede, öğrenciler dış ortamdaki hava koşullarından bağımsız olarak, iç mekan ortamında doğa ile etkileşim içerisinde olma halindedir [16].

E. DİKEY YEŞİL SİSTEMLERİN ENERJİ PERFORMANSLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ ÜZERİNE DENEYSEL BİR ÇALIŞMA

Dikey yeşil sistemlerin enerji analizi uygulama aşamasında; Çukurova Üniversitesi kampüsü alanında bulunan eğitim yapılarından seçim yapılarak, bu yapılar üzerinden karşılaştırmalı şekilde analiz yapılması planlanmıştır. Bu aşamalar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır:

- Uygulanacak mevcut eğitim yapılarının belirlenmesi
- Modellerin oluşturulması ve parametrelerin Revit’e tanıtılması
- Modellenen yapılar için ısıtma ve soğutma yüklerinin hesaplanması
- Modellenen yapıların toplam enerji yüklerinin hesaplanması
- Hesaplanan enerji yüklerinin karşılaştırılması

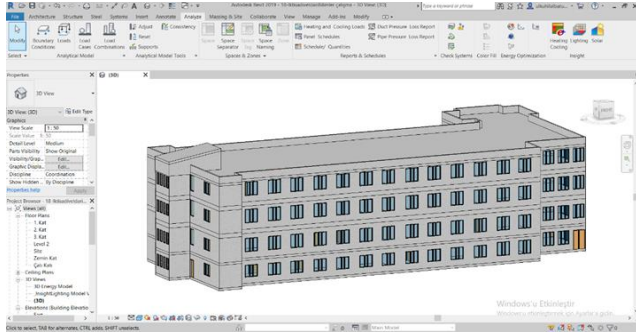
Çalışmada uygulanacak modellerin belirlenmesi

Alan çalışması Çukurova üniversitesi kampüsünde yapılmıştır. Çalışmada dikey yeşil sistemlerin cephe yönlerine göre faydaları da kıyaslanmak istendiğinden cephe oranları benzer ancak farklı konumlandırılmış iki eğitim binası seçilmiştir. Bunlardan ilki için İktisadi ve İdari

bilimler fakültesi A blok binası tercih edilmiştir. İkinci olarak ise R2 derslikleri binası tercih edilmiştir. Binalar revit programında modellenmiştir (Şekil 3-5.). İlk analiz İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi A Blok binasının yüzey alanının fazla ve aktif kullanım alanlarının yoğun olduğu kuzey ve güney cephelerine dikey yeşil sistem uygulandığı varsayımıyla yapılmıştır ve enerji etkinliği tabloları oluşturulmuştur.



Şekil 2. İktisadi ve İdari bilimler fakültesi A blok binasının harita görünümü

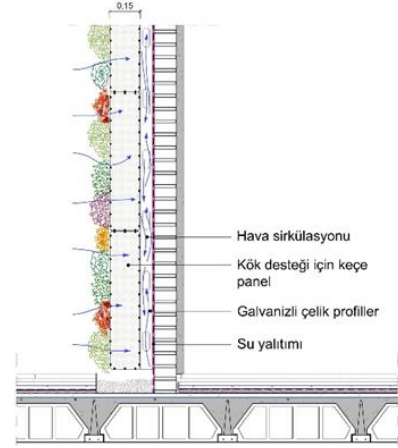


Şekil 3. İktisadi ve İdari bilimler fakültesi A blok binasının mevcut hali revit modeli

İkinci analiz için ise, yüzey alanının fazla ve aktif kullanım alanlarının yoğun olduğu mekanların doğu-batı cephesinde konumlanmış olan R2 derslikleri binası seçilmiştir. Doğru-batı yönündeki cepheler boyunca dikey yeşil sistem uygulandığı varsayımıyla enerji etkinliği tablosu oluşturulmuştur.



Şekil 4. R2 derslikleri binasının harita görünümü

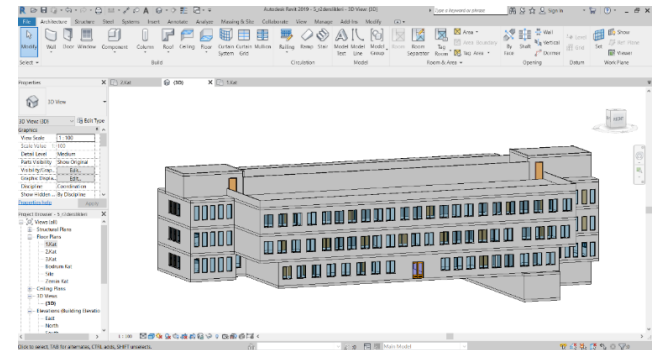


Şekil 5.R2 derslikleri binasının mevcut hali revit modeli

Uygulanacak Dikey Yeşil Sistemin Belirlenmesi

Çalışmada kullanılan dikey yeşil sistemlerden modüler yaşayan duvar sistemleri yapılardan birinde kuzey ve güney dış cephelerine uygulanırken diğerinde doğu ve batı dış cephelerine uygulanmıştır. Modüler yaşam duvarları, binanın dikey yüzeylerinde yapay olarak düzenlenmiş bitki örtüsü ve modül içindeki ekim ortamından oluşur. Modüller, ekime yapılmak istendiğinde tedarik edilebilir ve düzenli olarak değiştirilebilir.

Ekim ortamı için alt katman malzemesi olarak keçe kullanımı da keçenin sudan etkilenmeyen ve dolayısıyla çürümeyen malzeme olması açısından bakım kolaylığı sağlamaktadır. Bu durum bitki ömrünü de uzatmaktadır. Bu nedenlerle uygulanacak sistem olarak modüler yaşayan duvar sistemi tercih edilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Analiz için seçilen dikey yeşil sistem türü-Modüler yaşayan duvar detay çizimi

Parametrelerin Programa Tanıtılması

Mevcutta bulunan betonarme duvar üzerine seçilen modüler yaşayan duvar sistemi uygulanmış ve gerekli parametreler programa tanıtılmıştır.

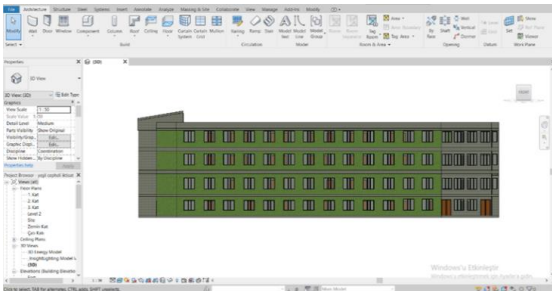
Uygulanacak olan modüler yaşayan duvar sisteminin detay çizimleri ve fotoğraflardan faydalanarak dikey yeşil sistem uygulanan duvarın katmanları belirlenmiştir. İlk olarak betonarme duvar katmanı üzerine konulan su yalıtım katmanı bitki büyüme ortamının altında yer alarak duvarı nemli ortamın zararlı etkilerinden korur. Sonrasında bitki destek elemanları ile yalıtım katmanı arasında kalan hava boşluğu duvar katmanları arasına eklenmiştir. Daha sonra çelik destek elemanları üzerine bitkinin kökleneceği keçe katmanı ve onun da üzerine bitki katmanı programa tanıtılmıştır.

Energy analysis yazılımı, yeşillendirme katmanının bitki örtüsü yüksekliğini, yaprak alanı indeksini, yaprak yansıtma oranını, yaprak emisyonunu ve minimum stoma direncini ayarlayarak yeşil cephedeki bitki örtüsü katmanını aynı şekilde duvara yapıştırılan bir tür “yalıtım malzemesi” olarak simüle edebilir (Pan, Xiao, 2014). Bu bilgilerle bitki katmanı için termal değerini kendimizin oluşturduğu yeni bir malzeme eklenmiştir. Bu yeni malzemenin termal değerlerine Pan ve Xiao ‘nun makalesinden ulaşılmıştır. Simülasyondaki parametrenin eşdeğerleri, yeşil katmanın emicilik katsıysı 0.8; yeşil katmanın yoğunluğu 300kg / m3'tür; yeşil katmanın (λ) termal iletkenliği 0.15W / m • k'dir [5].

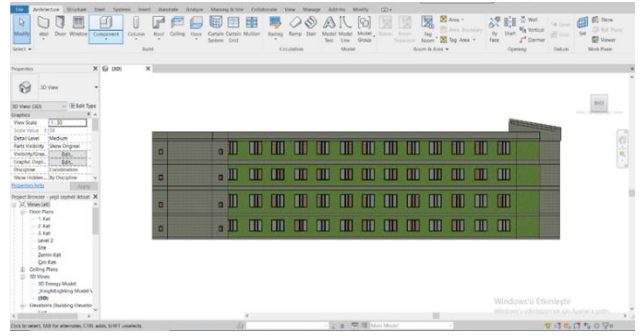
Bu değerler programa yukarıdaki şekilde tanıtılarak bitki (plant) katmanı oluşturulmuştur.

- Emissivity(Emicilik katsayısı)
- Density (Yoğunluk) Birimi pound per cubic foot olarak çevrilmiştir.
- Thermal Conductivity(Termal İletkenlik) Birimi btu/her.ft.F olarak çevrilmiştir.

Yaşayan duvarlar, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi A Blok binasının derslik ve idare kullanım alanlarının olduğu tarafta yer alacak şekilde kuzey ve güney cepheleri boyunca uygulanmıştır (Şekil 7-8).

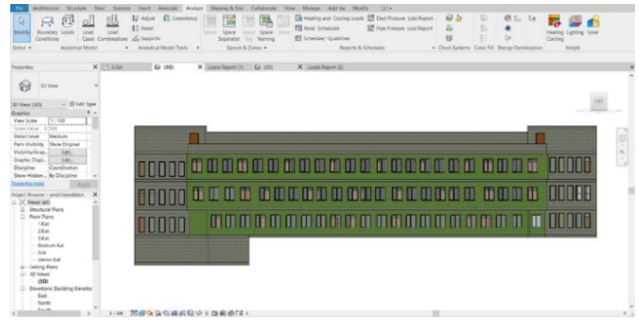


Şekil 7. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi A Blok Binası Dikey Yeşil Sistem Uygulanmış Hali Güney Cephe

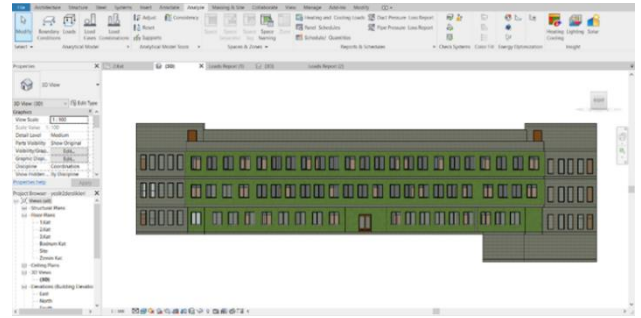


Şekil 8. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Binası Dikey Yeşil Sistem Uygulanmış Hali Kuzey Cephe

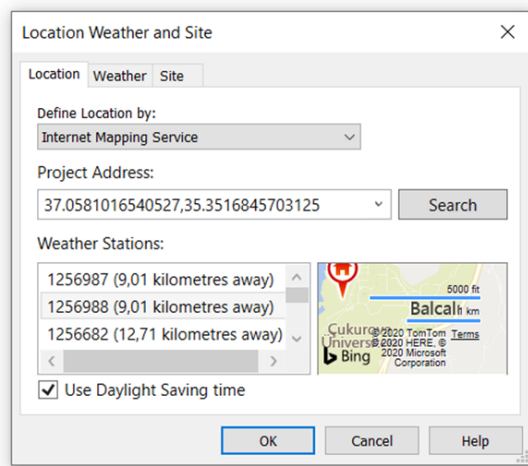
Yaşayan duvarlar, R2 derslikleri binasının derslik ve idare kullanım alanlarının olduğu tarafta yer alacak şekilde doğu ve batı cepheleri boyunca uygulanmıştır (Şekil 9-10)



Şekil 9. R2 Derslikleri Binası Dikey Yeşil Sistem Uygulanmış Hali Batı Cephe



Şekil 10. R2 Derslikleri Binası Dikey Yeşil Sistem Uygulanmış Hali Doğu Cephe Görünümü



Şekil 11. Revit programında konum bilgisinin tanımlanması

Projenin lokasyon bilgileri girilmiştir (Şekil 11). Daha sonra revit üzerinden ısıtma soğutma yükleri hesaplanmış ve çizelgeler oluşturulmuştur.

Isıtma Soğutma Yükünün Hesaplanması

Isıtma soğutma yükü hesaplamak için gerekli parametreler (yapı türü, haftalık aktif kullanım süresi, duvar katmanlarının termal değerleri, binanın konum bigisi vb.) girildikten sonra revit programı üzerinden enejî simülasyonu yapılmıştır. Sonuç olarak oluşturulan ısıtma soğutma yükü analiz çizelgeleri aşağıdaki şekildedir.

Tablo 2. İktisadi ve İdari Bilimler fakültesi A blok binasının mevcut hali ve dikey yeşil sistem uygulanmış hali ısıtma soğutma yük analizi karşılaştırma tablosu

Veriler	Mevcut durum	Dikey yeşil uygulanmış durum
Yapı türü	Üniversite	Üniversite
Alan (m ²)	3,648	3,648
Hacim (m ³)	10,597.60	10,597.60
Hesaplanan değerler		
Toplam Soğutma Yükü (Btu/h)	1,842,839.8	1,534,215.0
Soğutma yükünün en yüksek olduğu Ay ve Saat	Eylül 16:00	Eylül 14:00
Maximum Soğutma Kapasitesi(Btu/h)	1,640,583.0	1,303,107.7

Toplam Isıtma Yükü (Btu/h)	1,365,406.5	1,107,296.3
Girdiler		
Soğutma noktası	74 °F	74 °F
Isıtma noktası	70 °F	70 °F
Hava sıcaklık değeri	54 °F	54 °F
İnsan sayısı	913	913
Bağıl nem	38.00% (Hesaplanan)	42.00% (Hesaplanan)

Yukarıdaki tablo verileri sonuçlarına göre İktisadi ve İdari Bilimler fakültesi A blok binasının toplam ısıtma ve soğutma yüklerine bakıldığında mevcut durumda toplam soğutma yükü yaklaşık 1,842 Btu/h iken, dikey yeşil sistem uygulanmış halinde yaklaşık 1,534 Btu/h ölçülmüştür. Bu da soğutma yükünde yaklaşık yüzde 17 oranında düşüş olduğu anlamına gelmektedir. Isıtma yükü ise mevcut durumda 1,365 Btu/h ölçülmüştür. Dikey yeşil sistem uygulanmış halinde ise yaklaşık 1,107 Btu/h ölçülmüştür. Bu da ısıtma yükünde yaklaşık yüzde 19 oranında düşüş olduğu anlamına gelmektedir. Soğutma-ısıtma yükü azalmış olmasına rağmen bağıl nem oranının arttığı da analiz sonuçlarındandır. Bitkinin termal değerleri dolayısıyla bağıl nemde yüzde 4 artış gözlenmiştir. Soğutma-ısıtma yük ve akış yoğunluklarında da belirli oranlarda azalma saptanmıştır (Tablo 2.).

Tablo 3. R2 derslikleri binasının mevcut hali ve dikey yeşil sistem uygulanmış hali ısıtma soğutma yük analizi karşılaştırma tablosu

Veriler	Mevcut durum	Dikey yeşil uygulanmış durum
Yapı türü	Üniversite	Üniversite
Alan (m ²)	3,868	3,868
Hacim (m ³)	11,542.83	11,542.83
Hesaplanan değerler		
Toplam Soğutma Yükü (Btu/h)	2,210,365.5	1,862,742.8
Soğutma yükünün en yüksek olduğu Ay ve Saat	Ağustos 14:00	Ağustos 14:00

Maximum Soğutma Kapasitesi(Btu/h)	2,210,365.5	1,806,742.8
Toplam Isıtma Yüğü (Btu/h)	1,151,838.8	933,944.2
Girdiler		
Soğutma noktası	74 °F	74 °F
Isıtma noktası	70 °F	70 °F
Hava sıcaklık değeri	54 °F	54 °F
İnsan sayısı	974	974
Bağıl nem	46.00% (Hesaplanan)	50.00% (Hesaplanan)

Yukarıdaki tablo verileri sonuçlarına göre toplam ısıtma ve soğutma yüklerine bakıldığında mevcut durumda toplam soğutma yükü yaklaşık 2,210 Btu/h iken, dikey yeşil sistem uygulanmış halinde yaklaşık 1,862 Btu/h ölçülmüştür. Bu da soğutma yükünde yaklaşık yüzde 16 oranında düşüş olduğu anlamına gelmektedir. Isıtma yükü ise mevcut durumda 1,151 Btu/h ölçülmüştür. Dikey yeşil sistem uygulanmış halinde ise yaklaşık 933 Btu/h ölçülmüştür. Bu da ısıtma yükünde yaklaşık yüzde 19 oranında düşüş olduğu anlamına gelmektedir.

İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi A Blok binasının analiz sonucuna benzer sonuçlar elde edilmiş, R2 derslikleri binası enerji analiz sonuçlarında da bağıl nemde yüzde 4 artış olduğu gözlenmiştir. Yine soğutma-ısıtma yük ve akış yoğunluklarında da belirli oranlarda azalma saptanmıştır (Tablo 3.).



Şekil 12. Revit-Insight bina enerji-maliyet analizi

Yapılan ısıtma soğutma yükü analizine ek olarak Revit-Insight bina enerji-maliyet analizi

gerçekleştirilmiştir. İki bina için de bina yerleşim toplam metrekaresi üzerinden metrekaresine başına yılda 15 \$ düşerken, dikey yeşil sistem uygulanmış halinde metrekaresine başına 13 \$ düştüğü görülmektedir (Şekil 12). Dolayısıyla ısıtma soğutma yükündeki azalma yıllık enerji maliyetini de düşürmüştür.

III. BULGULAR

Çalışmada yapılan yukarıdaki enerji analizleri neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Dikey yeşil sistemlerin ısıtma soğutma yükünü yaklaşık %16-19 oranında azaltabildiği,
- Bitkinin sebep olduğu terleme ve suyun buharlaşması sonucu %4-5 oranında nem artışı olduğu,
- Sıcak nemli iklim bölgesi için kuzey-güney aksı cepheleri ile doğu-batı aksı cephelerinde enerji korunumu açısından fark görülmediği,
- Yıllık enerji tüketim maliyetini azalttığı bilgilerine ulaşılmıştır.

Adana-Çukurova bölgesi sıcak-nemli iklim bölgesindedir. Elde edilen sonuçlar; dikey yeşil sistemlerin sıcak nemli iklim bölgesinde uygulandığında cephe fark etmeksizin aynı oranda enerji performansı gösterdiğini ortaya koymuştur. Sıcak nemli iklim bölgesinde uygulanan dikey yeşil sistemlerin, bina yüzeyinde ve iç mekanda yüksek bir soğutma etkisine sahip olduğu ve dikey yeşil sistem uygulanmış dış duvar yüzeyinin ısı almak yerine çevreye ısı verdiği bilgisi analiz sonucu ile desteklenmiştir. Bunun en önemli ve ilk sebebi bitki katmanı sayesinde bina yüzeyinin güneş ışınlarına direkt maruz kalmayıp, ikinci sebebi ise bitkiyi sulama sonucu sistem içerisinde var olan suyun buharlaşırken bina cephesi yüzeyinden ısı alarak yüzeyi soğutmasıdır. Ancak bu ikinci sebebin olumsuz sonucu bağıl nemin artışı şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Yine de bu durum yüksek soğutma etkisi yanında göz ardı edilebilecek boyuttadır. Dikey yeşil sistemler sıcak nemli iklimlerde bahsedilen soğutma etkisi nedeni ile kentsel ısı adası etkisini de azaltmaya yardımcı olacaktır.

IV. TARTIŞMA

Çalışmada edinilen bulgular, dikey yeşil sistemlerin binayı güneş ve rüzgarın olumsuz etkilerinden koruması, hava kalitesi sağlanması, biyolojik çeşitliliğe katkı sağlaması, gürültüyü azaltması gibi birçok faydanın yanında enerji etkinliği sağladığının sayısal verilere dayandırılarak net bir şekilde ortaya konması açısından önemli olmuştur.

Pan ve Xiao'nun 2014 yılındaki "Simulation Analysis of Building Green Facade Eco-Effect" isimli çalışmalarında dikey yeşil sistemlerin % 23.7 ısı direnci değerini artırabildiği, yıl boyunca klima yükünün% 6.2'sini koruyabildiği, yaz aylarında iç sıcaklığı 3-5 derece azaltabildiği, hava hızını 0.03 m / s azaltabildiği belirlenmiştir. Simülasyon sonuçlarında, yeşil cephe uygulamalarının eko etkilerinin; soğutma ve yalıtım, enerji tasarrufu, ısı adası hafifletme, konforun iyileştirilmesi, karbon ve oksijen dengesinin korunması olduğu görülmüştür. [17]. Bu bilgiler ile çalışmada edinilen sonuçlar ile paralellik olduğu söylenebilir. İklim farklılığından, simülasyonu yapılan binanın hacimsel büyüklüğü ve form farkından, doluluk boşluk oranının farkından ve uygulanan dikey yeşil sistemin termal değerleri ve katman farklılığından kaynaklı olabilecek sonuç farklılıkları doğaldır. Çalışmada edinilen enerji tasarrufu %16-19 oranında olmuştur. Pan ve Xiao'nun 2014 yılındaki çalışmasında ise bu oran % 23.7 e kadar çıkmıştır. Ancak bu farklılıklar dikey yeşil sistemlerin enerji etkin tasarımı sağladığı faydaları değiştirmemektedir.

Katia Perini'nin (2017) "Vertical greening systems and a process tree for green façades and living walls" isimli makalesinde dikey yeşil sistemlerin sağladığı kent ve bina bazındaki faydaları araştırılmıştır. Çalışmada, dikey yeşil sistemlerin hava kalitesinin iyileştirdiği, kirliliği azalttığı, biyolojik çeşitliliğin arttırdığı ve sıcak bölgelerde ısı adası etkisinin azaltılmasında etkin rol oynadığı ortaya konmuştur. Aynı zamanda kentsel bölgelerdeki ısı adası etkisinin azalmasının, yeşil yüzeyli cepheler tarafından yayılan düşük ısı miktarı ve bitkilerin yapay yüzeylere kıyasla neden olduğu buharlaşma etkisiyle gerçekleştiği belirtilmiştir. Çalışmada, hem yeni hem de mevcut binalarda dikey yeşillendirme sistemlerinin kullanılması, enerji tasarrufu, besin maddeleri ve su yönetimi ve yapıların verimli korunması açısından birçok çevresel fayda ve sürdürülebilir bir yaklaşım sunabileceği sonucuna varılmıştır [8].

M. Mahmoudi Zarandi ve M. Pourmoussa'nın 2018 yılındaki "A comparative study on details of green walls in different climates" isimli makalelerinde, farklı iklimlerde yaşayan duvarlarla ilgili özellikleri araştırmak amaçlanmıştır. Çalışmada farklı iklim tiplerinde yer alan yaşayan duvar uygulamaları incelenmiştir. İncelemeleri sonucunda ılıman, sıcak ve nemli iklimlerde yeşil duvarların kullanılması olumlu etkiye sahip olduğu, ancak nem faktörünün göz ardı edilmemesi gerektiği belirtilmiştir. Daha sıcak ve daha kuru iklimlerde ise kentsel ölçekte, yeşil örtülerin kentsel sıcaklıklar üzerinde büyük bir etkiye sahip olacağı ve binaların duvarlarının yeşil örtülerle kaplanması, kentsel sıcaklıkları düşürmek için önemli bir potansiyel olacağı üzerinde durulmuştur. Çalışmaya göre yüksek verimliliğe, hem çatılar hem de duvarlar için yeşil yüzeylerin aynı anda uygulanmasıyla ulaşılabilecektir. Bu bilgiler ışığında, dikey yeşil sistemlerin önemli oranda enerji tasarrufu sağlayabileceği sonucuna ulaşılmıştır [18].

Çalışmada dikey yeşil sistemlerin güneşin radyasyon etkisine karşı binayı koruduğu ve bunun sonucu olarak kentsel ısı adası etkisini azalttığı açıklanmıştır. Aynı zamanda yıllık ısıtma soğutma yüküne katkı sağladığı simülasyon sonucunda sayısal verilerle ortaya konmuştur. Edinilen bulguların literatürdeki çalışmalarla da örtüştüğü görülmüştür.

SONUÇLAR

Dikey yeşil sistemlerin, yapılan çalışma ile ortaya konan enerji korunumuna katkısı, çevreye uyumlu mimari anlayışı desteklemektedir. Dikey yeşil sistemler; binayı güneş ışınması ve rüzgara karşı korur, dış- iç mekan hava kalitesini artırır, kentsel ısı adası etkisini azaltır, biyolojik çeşitliliği artırır ve yeşilin insan psikolojisi üzerindeki olumlu etkileri ile estetiksel açıdan da katkı sağlar.

Sürdürülebilir tasarımların getirdiği çevresel faydalardan mahrum kalmamak ve toplumun çevre sağlığı için üstlenmesi gereken sorumluluklarını ortaya çıkarmak için eğitim unsuruyla nesilden nesile aktararak bilincin oluşturulmasını ve geliştirilmesini sağlamak gerekir. Doğaya ve çevreye saygılı davranış biçimlerini, teorik olarak öğretmekten daha etkili ve kalıcı olacağı bilinen deneyimleyerek öğretme yöntemi eğitim yapılarında esas alınmalıdır. Bu da ancak eğitim yapılarının sürdürülebilir hedefler doğrultusunda

tasarlanmasıyla gerçekleştirilebilir. Bu bağlamda dikey yeşil sistemler göz önünde oluşları ve doğayı, yeşili eğitim ortamına taşımaları sebebiyle eğitim yapılarında sürdürülebilir tasarım hedeflerine ulaşmada katkı sağlayan sistemlerden biri olarak düşünülmektedir.

Dikey yeşil sistemler, mimaride yeni ve çevreye duyarlı anlayışlar geliştirmek ve daha yaşanabilir kentler meydana getirmek için önemi göz ardı edilemeyecek çözümlerdir. Doğru tasarlanmış dikey yeşil sistemlerin kent ve bina ölçeğinde sağladığı yararlar literatürden çıkararak somut veriler olarak bize geri dönecektir. Bu çözümlerin eğitim yapılarıyla buluşmasıyla da ileride öngörülebilecek bir dizi çevresel sorunun önüne geçilebilecektir. Diğer taraftan, yapılarıdaki uygulamaların eğitim yapıları kullanıcıları tarafından deneyimlenmesi etkin enerji kullanımı farkındalığını arttıracak ön görülmektedir. Sonuç itibarıyla çalışmada; dikey yeşil sistem türleri sınıflandırmasının yapılması ve çalışmada uygulanan dikey yeşil sistemlerin eğitim yapılarındaki simülasyonu elde edilen yararların ortaya konması, sonraki çalışmalara destek ve yol gösterici olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Mendler FS, Odell W., 2000. The Hok Guide Book to Sustainable Design. John Wiley&Sons, New York, USA, 1pp.
- [2] AIA – The American Institute of Architects, 2007. Integrated project delivery: A guide, AIA Publications, USA.
- [3] Sev A., 2009. Sürdürülebilir Mimarlık, Yapı Endüstri Merkezi, YEM Yayınevi, İstanbul.
- [4] Canarslan Ö., 2007. Evaluation Indicators For Selection Of Sustainable Building Materials, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [5] Kennedy J. F., 2004. Building Without Borders : Sustainable Construction For The Global Village, New Society Publishers.
- [6] Anink D., 1996. Handbook of Sustainable Building : an environmental preference method for selection of materials for use in construction and refurbishment, James & James, Londra.
- [7] Manso, M., & Castro-Gomes, J. (2015). *Green wall systems: A review of their characteristics. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 863–871. doi:10.1016/j.rser.2014.07.203
- [8] Perini, K., Ottel , M., Haas, E. M., & Raiteri, R. (2012). *Vertical greening systems, a process tree for green façades and living walls. Urban Ecosystems*, 16(2), 265–277. doi:10.1007/s11252-012-0262-3
- [9] Şimşek,  lk , & Şenyiğit,  zlem. (2020). Examination of vertical green systems in educational buildings: a field study in  ukurova University. *Journal of Design for Resilience in Architecture and Planning*, 1(1), 33–56. <https://doi.org/10.47818/DRArch.2020.v1i1003>
- [10] Murphy, C., Thorne, A. (2010). Health and Productivity Benefits of Sustainable Schools: A Review, Brepress, Watford.
- [11] Ohio Energy Project. 2000. Energy Smart Schools: Creating a Sustainable Learning Environment in Ohio. Ohio’s EnergySmart Schools Program Booklet.
- [12] U.S. DOE (Jan. 2001) Energy-Smart Building Choices, How School Administrators and Board Members are Improving Learning and Saving Money, U.S. DOE Office of Building Technology, State and Community Programs (BTS) Energy Smart Schools Brochure, - DOE/GO-102001-1430, Aug 2001.
- [13] Frenette, Edward, Dion, Martine, Halm, Patrick, Ferzacca, Nick and Oldeman, Andy, (July 2003), In Equal Measure, Addressing the broad spectrum of indoor environmental quality in school and university buildings. American School and University, sf. 34-41.
- [14] Baker L., 2012. A History of School Design and its Indoor Environmental Standards. 1900 to Today, Washington: National Clearinghouse for Educational Facilities
- [15] Ashrae, 2007., “ASHRAE green design guide - The design, construction, and operation of sustainable buildings”, Butherworth-Heinemann & ELSEVIER Yayınevi, 2. Baskı, 3 s.
- [16] McCullough, M.B., Martin M.D. , Sajady M.A., 2018 “Implementing Green Walls in Schools”, University of Minnesota ,Frontiers in Psychology
- [17] Pan ,X., Xiao Y., 2014, “Simulation Analysis of Building Green Facade Eco-Effect”, Shenyang Jianzhu University
- [18] Zarandi, M. M. ,2018, Pourmousa M. , A comparative study on details of green walls in different climates, Environmental Resources Research cilt.6, no.2
- [19] Url -1 <https://www.greenroofs.com/projects/drew-school-sam-cuddleback-iii-assembly-wing-vertical-garden/> (Erişim :12.04.2020)