

Düşey Yeşil Sistemlerin Enerji Etkinliklerinin Değerlendirilmesi

Elif Erdoğan¹
İkbal Çetiner²

Konu Başlık No: 4. Sürdürülebilir Çatı ve Cephe Sistemleri

ÖZET

Günümüzde, kentleşme sonucu ortaya çıkan çevresel sorunların çözümüne yönelik çalışmalar tüm alanlarda olduğu gibi bina endüstrisi alanında da giderek artmaktadır. Çevresel sürdürülebilirliğin arttırılmasını hedefleyen bu çalışmalarda, binanın yaşam döngüsü içindeki enerji, su ve malzeme kullanımını azaltmak amacıyla, bina ve çevresinde alınan önlemlerin etkinlikleri araştırılmaktadır. Bu kapsamda, binayı oluşturan eleman sistemlerinden cepheler ve çatılar üzerinde en fazla çalışılan konu alanlarıdır.

Sözü edilen sistemlerin enerji tüketimini azaltmak amacıyla alınan önlemlerden birisi, cephe ya da çatının bitkilendirilmesidir. Cephelerin yapıdaki toplam enerji tüketimi içindeki payının, çatılara oranla daha fazla olduğu dikkate alındığında, cephenin bitkilendirilmesi yoluyla geliştirilmiş düşey yeşil sistemlere ilişkin araştırmaların çoğalması, binanın ısı performansının ve çevresel sürdürülebilirliğinin arttırılması açısından önem taşımaktadır.

Bildiride, son yıllarda giderek yaygınlaşan düşey yeşil sistemler tanıtılmakta, katmanlaşma modelleri ile malzeme özellikleri ortaya koyulmakta ve son olarak Türkiye'nin farklı iklim bölgelerinden seçilen İstanbul, İzmir ve Ankara illerinde konumlandığı varsayılan bir ofis binasının cepheleri için geliştirilen tip seçeneklerin enerji etkinlikleri değerlendirilmektedir.

Yapılan benzetimler sonucunda, düşey yeşil sistem tipleri arasından uygulama için seçilen yaşayan duvar sistem tipinin kullanıldığı seçenekler için, modellenen binanın ısıtma ve toplam enerji tüketimi azalmakta, soğutma tüketimi ise artmaktadır. En fazla fayda sağlanan seçenek, Ankara ilinde yer alan ofis binasının tüm cephelerinin bitkilendirildiği durumdur.

ANAHTAR KELİMELER

Düşey Yeşil Sistemler, Çevresel Sürdürülebilirlik, Enerji Etkinlik

¹. Elif Erdoğan, Mimar (İTÜ), İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık A.B.D., Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojileri Yüksek Lisans Programı, Taşkışla, 34437 Taksim/İstanbul, eliferdogdu@gmail.com

². İkbal Çetiner, Y. Doç. Dr. (İTÜ), İTÜ Mimarlık Fakültesi Mimarlık A.B.D., Taşkışla, 34437 Taksim/İstanbul, cetinerikb@itu.edu.tr

1. GİRİŞ

Bugün modern kentlerde yaşanan sorunların ana kaynaklarından birisi, çevre kirliliği ve kirlenmenin yaşama yaptığı olumsuz etkilerdir. Nitekim kentlere yakından bakıldığında, hava, su, toprak gibi yaşam için birinci derecede önemli olan kaynakların aşırı ve yaygın biçimde kirlendiği görülmektedir. Önemli ve güncel bir diğer konu ise, küresel ısınma ve onun kentlerdeki etkileridir. Son yıllarda fosil yakıtların kullanılması, ormansızlaşma, hızlı nüfus artışı ve toplumlardaki tüketim eğiliminin artması gibi nedenlerle sera gazlarının atmosferdeki yığılması artış göstermektedir. Sera gazı etkisinin bir sonucu olarak ortaya çıkan küresel ısınmanın giderek artışı ise küresel iklim değişikliğine neden olmaktadır [1]. Küresel ısınma kaynaklı bir diğer problem, kent içindeki sıcaklığın eş zamanda çevresindeki kırsal alandan daha yüksek olması olarak tanımlanabilecek olan kentsel ısı adası etkisidir. Bu sıcaklık farkının nedeni, genelde kentsel alandaki arazi örtüsündeki değişikliklerdir [2].

Türkiye İklim Değişikliği I. Ulusal Raporu'nda, çevreye salınan toplam emisyonun ancak %25'inin yutak alanlarca emildiği ifade edilmektedir [3]. Bu oranı arttırabilmek için orman ve çayır alanlarının korunması ve kent içinde de yeşil alan büyüklüğünün arttırılması gereklidir [1]. Cepheler, bu anlamda kentsel alanlarda bitkilendirme için kullanılacak yüksek potansiyele sahip yapı elemanlarından birisidir. Mevcut cephe alanlarının bitkilendirilmesinin ve yeni yapılacak bina cephelerinde düşey yeşil sistem kullanımının, enerji tüketiminin ve böylelikle bahsedilen çevresel sorunların azaltılmasında etkili olabilecek uygulamalar olduğu düşünülmektedir. Bu kapsamda, amaçlanan düşey yeşil sistemlerin enerji tüketimini azaltma konusunda sağladığı faydaları ortaya koymak, tasarımcı, yüklenici ve uygulayıcılara rehber olabilecek bir çalışma sunmaktır.

2. DÜŞEY YEŞİL SİSTEMLER

Düşey yeşil sistemler; cephelerin, yeryüzündeki toprakta, duvarın kendi bünyesinde veya bitki kutularında yetişen bitki materyalleri ile kaplanmasıdır. Bu sistemlerde, cephe temel olarak bitki, yetiştirme ortamı-taşıyıcı katman, filtre katmanı, kök tutucu katman, su yalıtım katmanı, ısı yalıtım katmanı, buhar kesici katman ve duvar taşıyıcı sisteminden oluşur. Düşey yeşil sistemlerin faydalarına bakıldığında; faydalarının başında kentsel ısı adası etkisini azaltması, dış-iç mekan hava kalitesini, biyolojik çeşitliliği ve enerji etkinliği artırması, ses-ısı yalıtımı özelliği göstermesi ile estetiği düzenlemesi gelmektedir. Özellikle, Avrupa'da ve Kuzey Amerika'da örneklerin hızla arttığı, ancak Türkiye'de çevresel sorunlara olan duyarlılığın ve ayrılan bütçenin azlığı sebebiyle konu ile ilgili olarak yeterli miktarda çalışma yapılmadığı, görülmektedir. Bu açıdan, iklim değişikliklerine karşı alınabilecek yapısal önlemlerden biri olarak, düşey yeşil sistem kullanımının yaygınlaştırılması önemli görülmektedir [4]. Düşey yeşil sistemleri; taşıyıcı bileşenlerine, yapım tekniğine, büyüme ortamlarına, bitki türlerine ve sulama sistemlerine göre sınıflandırmak mümkündür. Ancak literatürde en sık rastlanan, yapım tekniğine göre yapılan sınıflandırma tipidir. Buna göre düşey yeşil sistemler; yeşil cepheler, bitkilenmiş duvarlar, yaşayan duvar sistemleri olmak üzere üç grupta toplanabilir.

Yeşil cepheler, sarılıcı-tırmanıcı bitkiler ile kaplanmış duvarlardır. Düşey yeşil sistemler arasında en kolay uygulanan gruptur. Kendi içlerinde, toprakta yetişen ve saksıda yetişen olmak üzere iki grupta toplanabilir. *Bitkilenmiş duvarlar* iki grupta incelenebilir. Birinci grup doğal olarak bitkilenen ve bitkinin duvar yüzeylerinin özellikle birleşim yerlerinde veya çatlaklarında yetiştiği düşey yeşil sistem türüdür. Duvar yüzeyinde düzensiz gelişen bir yapıya sahiptir ve duvar yapısına zarar verir. İkinci grup ise bilinçli bir şekilde, bitkilenmenin duvarı oluşturan ön üretimli panellerin kendi bünyesinde gerçekleştiği tiptir. *Yaşayan duvar sistemleri*, duvarın altında köklenmek yerine, duvara takılmış bir yetiştirme ortamı içinde büyüyen bitkilerle oluşturulmuş sistemlerdir [5]. Bu sistemler; güneşli, gölgeli ortamlarda; tropikal ve ılımlı iklim gibi farklı iklimlerde tasarlanabilir [6]. Bitki katmanının duvardan ayrı tutulması ve "hidrofonik sistem" kullanılması nedeniyle bina duvarları için daha uygundur. Hidrofonik sistemde bitki ihtiyacı olan mineralleri içeren bir besin solüsyonundan faydalanır. Bitkileri ve bitkilerin kök sistemlerini desteklemek için genellikle kum, turba, vermikülit, perlit, hindistan

cevizi veya taşünü gibi yetiştirme ortamları kullanılır [7]. Sistemde kullanılan ‘damla sulama sistemi’ büyüme ortamını nemli tutar [5]. Bitkilerin çeşitliliği ve yoğunluğu sebebiyle, yaşayan duvar sistemleri, yeşil cephelere göre daha fazla bakım gerektirir. Ön üretimli ve yerinde yapım sistemler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Kullanılan malzeme tipine bağlı olarak ön üretimli yaşayan duvarlar, saksıda bitkilendirilmiş, köpük katmanlı ve mineral yünü katmanlı; yerinde yapım yaşayan duvarlar ise keçe katmanlı olarak isimlendirilirler.

Yeşil cephe tipinde İsviçre’de tasarlanmış MFO Park, 24 saat halkın kullanımına açık kamusal bir kent parkıdır (Şekil 1). Kablo ve tel örgü ağ sistemi kullanılarak üretilen yeşil cephe örneğinde, değişik boylarda ve farklı renklerde sarılıcı-türmanıcı bitkiler kullanılmıştır. Bitkiler, tüm cephelerde, iç mekanda ve ara katlarda zemin veya saksı toprağına dikilmiştir [8].



Şekil 1: MFO Park-yeşil cephe örneği [8].

Barcelona’da Kültür Merkezi olarak inşa edilen yapıda; bitkilenmiş duvar tipinde kullanılan bitkilenmeye uygun ön üretimli beton paneller tercih edilmiştir. Yapının tüm cepheleri aynı sistemle üretilmiştir. Bitki olarak liken ve karayosunları kullanılmıştır (Şekil 2). Beton bloklar çelik profillere monte edilmiştir. Bitkilerin yetişebilmesi için gerekli olan su cepheden emilen yağmur suyu ile sağlanmaktadır [9].



Şekil 2: Barcelona Kültür Merkezi-bitkilenmiş duvar örneği [9].

İspanya’da tasarlanmış Ushüaia Otel’de avlunun merkezindeki bar ile konaklama alanları arasında ses bariyeri sağlamak amacıyla, saksıda bitkilendirilmiş yaşayan duvar tipi tercih edilmiştir. Yüksek nem ve sıcaklık değerlerinin ölçüldüğü ve rüzgar hızının düşük olduğu bir bölgede konumlandırılmış sistemin üretimi ve kullanım süreci düşük teknolojiler ile yapılmaktadır. Pişmiş topraktan üretilmiş saksılara dikilen bitkiler, cephenin amorf formuna ve yönleneşine bağlı olarak oluşan gölge ve güneş ışınımı miktarı dikkate alınarak yedi farklı türden seçilmiştir (Şekil 3). Ayrıca saksılara duvar gövdesi yönüne doğru eğim verilerek sulama ve yağmur suyundan en üst düzeyde fayda sağlanması amaçlanmıştır [10].



Şekil 3: Ushüaia Otel-yaşayan duvar örneği [10]

Çalışmada; enerji etkinlik değerlendirmesi yapılan düşey yeşil sistemlerin enerji etkin tasarımında etkili parametreler iklime ve cepheye ilişkin olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. İklimle ilişkin parametreler; güneş ışınımı, hava sıcaklığı, yağış miktarı ve nem, rüzgar; cepheye ilişkin parametreler ise; cephenin bulunduğu yer, bina aralıkları, cephenin yönlendiriliş durumu, cephe formu ve kabuk özellikleri olarak belirlenmektedir. Çizelge 1’de, düşey yeşil sistemler için bu parametrelere ilişkin uygulama ilkeleri açıklanmaktadır.

Çizelge 1: Düşey yeşil sistemlerin enerji etkin tasarımında etkili olan parametrelere ilişkin uygulama ilkeleri.

	Parametreler	Uygulama İlkeleri
İklime İlişkin Parametreler	Güneş Işınımı	Pasif güneş ısıtması sağlamak için özellikle güney cephesinde güneş ışınımından faydalanmak
	Hava Sıcaklığı	Toprak tabakasında ve özellikle koyu renk bitki tercih etme yoluyla yaprak yüzeyinde ısı depolama özelliğinden faydalanmak
	Yağış Miktarı ve Nem	Yağmur suyunu, duvar yüzeyinden doğrudan akışına engel olacak biçimde bünyede toplamak veya sistemde biriktirerek yeniden kullanmak
	Rüzgar	Hakim rüzgar yönü dikkate alınarak bitki seçimi yapmak ve yoğun yapraklanma gösteren bitki tercihi ile rüzgar kontrolü sağlamak
Cepheye İlişkin Parametreler	Cephenin Bulunduğu Yer	Bitki tercihinde endemik türleri kullanmak, bitkinin büyüebilmesi için uygun ortamı sağlamak
	Bina Aralıkları	Çevredeki binaların gölgeleme alanlarını hesaba katarak gölgeye veya güneşe dayanıklı bitki tercih etmek
	Cephenin Yönlendiriliş Durumu	Yönlere bağlı iklimsel özelliklere uygun bitkilendirme sağlayarak, enerji korunumu açısından en etkili cephelerde uygulamalar yapmak
	Cephe Formu	Bitkilendirilmiş cephelerde yüzey açılarına bağlı olarak cephe formunun güneş ışınımından faydalanmadaki etkisini arttırmak
	Kabuk Özellikleri	Seçilen bitki bileşeninin yaprak yoğunluğu ile dokusu, yaprak döken ya da dökmeyen türlerden olması ve yaprak rengi konusunda dikkatli davranmak

3. YÖNTEM

Düşey yeşil sistemlerin enerji etkinliklerinin değerlendirildiği bu çalışmada izlenen yöntem; literatür araştırması ve benzetim çalışması yapmaktır. Literatür araştırması kapsamında; düşey yeşil sistemler tanıtılmakta, sağladığı yararlar, sınıflandırmaları, katmanlaşma modelleri, kullanılan malzemeler ile bileşenler anlatılmakta, yurtdışından uygulama örnekleri verilmekte, sistemlerin enerji etkin tasarımında etkili parametrelere değinilmektedir. Benzetim çalışması kapsamında ise; düşey yeşil sistemlerin farklı iklim bölgelerinde ve farklı cephelere uygulanması ile geliştirilen seçeneklerin enerji tüketimleri enerji analizi yapabilen bir bilgisayar programı ile belirlenerek elde edilen sonuçlar değerlendirilmektedir. Detaylı modelleme yapabilmesi ve günümüzde pek çok araştırmacı tarafından kullanılıyor olması nedeniyle, enerji yükü analizleri EnergyPlus programı ile yapılmıştır. EnergyPlus, binalardaki ısıtma, soğutma, aydınlatma, havalandırma ve diğer enerji akışlarını modellemek üzere geliştirilmiş bir programdır. Program yardımı ile binaların ısıtma, soğutma ve aydınlatma enerjisi tüketimleri; saatlik, aylık veya yıllık detaylı bir veri girişi ile (bina ve çevresine ilişkin veriler, iklim verileri, malzeme/bileşen ve katmanlaşma özellikleri, kullanıcı profili, aydınlatma, elektrik ve mekanik gibi servis sistemi verileri, vb.) hesaplanmaktadır [11]. Programın seçilmesinde, yukarıda sayılan niteliklerinin yanısıra, benzetimde kullanılacak bitki ve toprak gibi katmanların özelliklerinin de programa tanıtılmasının mümkün olması etkili olmuştur.

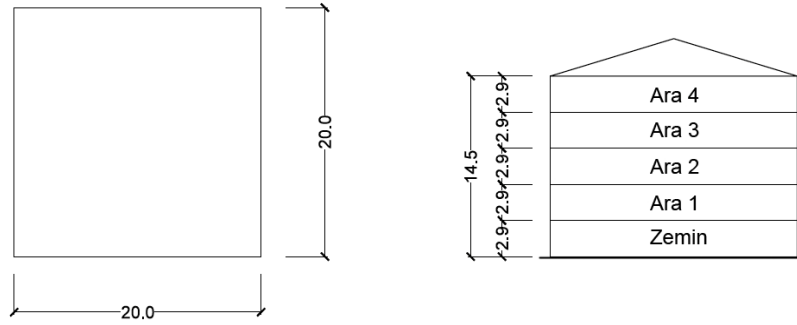
4. UYGULAMA

Uygulama çalışması dört adımdan oluşmaktadır:

- Benzetim yapılacak bina modelinin belirlenmesi
- Seçeneklerin oluşturulması ve programa tanıtılması
- Seçenekler için toplam enerji yüklerinin hesaplanması
- Sonuçların enerji etkinlik açısından değerlendirilmesi

4.1. Benzetim yapılacak bina modelinin belirlenmesi

Uygulama çalışmasının ilk aşaması, benzetim yapılan binaya ilişkin genel kararların alınmasıdır. Referans binanın çevre binalara olan mesafesinin, şehir içindeki genel yapılaşma durumu dikkate alınarak, kuzey, doğu ve güney yönlerinde 4m; batı yönünde 20m olduğu varsayılmıştır. İşlevi ofis olarak belirlenmiştir, 20x20m boyutlarında 5 katlı ve kat yüksekliği 2,9m'dir. Her kat bir zon olarak düşünülmüştür (Şekil 4). Açık ofis düzeninde tasarlanmış olup iç mekanda bölücü duvarlar mevcut değildir. Binanın çatısı kırma çatıdır ve eğiminin %30 olduğu varsayılmıştır.



Şekil 4: Bina modeline ait şematik plan ve kesit.

Bina saydamlık oranı %10 olarak seçilmiştir. Her katta birer adet, her cephede 5 adet olmak üzere, toplamda 20 adet pencere boşluğu oluşturulmuştur. Kullanıcı sayısı, her kullanıcıya brüt 20 m² alan düşecek şekilde, kat başına 20 kişi olarak belirlenmiştir. Binanın bulunduğu yerin, TS 825'deki derece gün bölgeleri tablosu dikkate alınarak 3 farklı bölgede olduğu varsayılmıştır. Bunlar; 1. bölgede olan İzmir ili, 2. bölgede olan İstanbul ili ve 3. bölgede olan Ankara ilidir. Sözü edilen illere ilişkin iklimsel veriler, Uluslararası Hava Verileri Dosyası'ndan alınarak EnergyPlus programına tanıtılmıştır. Düşey yeşil sistemlerden, modellenecek bina cephesinde kullanılmak üzere Çizelge 2'de katmanlaşma modeli ve malzeme özellikleri verilen 'Yaşayan duvar-Yerinde yapım-Keçe katmanlı' tipi seçilmiştir. Isıtma, soğutma ve aydınlatma ile ekipmanlara ilişkin sayısal değerler, ofis binası için gerekli optimum düzeyler dikkate alınarak ve TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları incelenerek belirlenmiş ve tüm seçeneklerde sabit tutulmuştur. Binanın doğal olarak havalandırıldığı ve klima sistemi ile ısıtılıp, soğutulduğu kabul edilmiştir. Termostat ile zonların sıcaklık seviyeleri sabah saat 06:00 ile akşam saat 22:00 arasında 23°C'ye, diğer saatlerde 13°C'ye ayarlanmıştır.

4.2 Seçeneklerin oluşturulması ve programa tanıtılması

Binaya ilişkin kararların alınmasından sonra, karşılaştırma yoluyla bir değerlendirme yapmak üzere seçeneklerin oluşturulması gerekmektedir. Doğru sonuçlar alabilmek için, değişkenlerin ve sabit verilere karar verilmiştir. Bitkilendirilen cephenin yönü ve adedi ile binanın bulunduğu iklim bölgesi, seçenek oluşturmada etkili olan değişkenlerdir. Bu doğrultuda, üç farklı il için, kuzey, doğu, güney ve batı cephelerinin tek tek ve hepsinin birden bitkilendirildiği durumlar ile hiçbir cephenin bitkilendirilmediği durum seçenekleri oluşturmaktadır. Elde edilen sonuçların değerlendirilmesi sırasında seçenekler arasında meydana gelebilecek karışıklıkları önlemek ve seçeneklerin daha rahat

ifade edilmelerini sağlamak için kodlama sistemi geliştirilmiştir. Buna göre; İstanbul ili 1, İzmir ili 2, Ankara ili 3 numaralarını almıştır. Kuzey, güney, doğu ve batı yönleri ilk harfleri ile, tüm cepheler T harfi ile kısaltılmış; bitkilendirilmiş durum *, bitkisiz durum o ile anlatılmıştır.

Çizelge 2: Seçilen yaşayan duvar katmanlaşma modeli ve malzeme özellikleri.

	Katmanlaşma	Malzeme	Kalınlık (m)	Isıl iletkenlik hesap değeri (W/m K)	Yoğunluk (kg/m ³)	Özgül ısı (J/kg-K)
Yaşayan duvar-Yerinde yapım-Keçe katmanlı sistem tipi		1. Bitki	0.10	0.14	110	1880
		2. Islak toprak	0.10	1.50	900	2400
		3. Yün keçe	0.005	0.035	48	710
		4. PVC levha	0.01	0.19	1200	1470
		5. Hava boşluğu	0,05	0,02	-	1006,10
		6. Su yalıtımı	0.004	0.19	1121	1673
		7. XPS	0.03 0.04 0.05	0.035	25	1500
		8. Tuğla duvar	0.19	0.45	1000	880
		9. İç sıva	0.02	0.87	1800	840

4.3 Seçenekler için toplam enerji tüketiminin hesaplanması

Bitkilendirilmiş cephe yönü ve sistemin uygulandığı şehre göre oluşturulan seçeneklerin yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimi miktarları Çizelge 3'te görüldüğü gibidir.

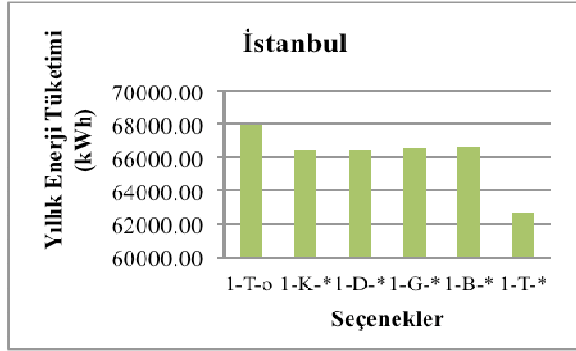
Çizelge 3:Yıllık ısıtma, soğutma ve toplam enerji tüketimleri.

Şehir	Seçenekler	Yıllık Isıtma Enerjisi Tüketimi (kWh)	Yıllık Soğutma Enerjisi Tüketimi (kWh)	Yıllık Toplam Enerji Tüketimi (kWh)
İstanbul	1-T-o	34125.95	33787.75	67913.70
	1-K-*	31892.54	34507.84	66400.38
	1-D-*	31878.69	34568.83	66447.52
	1-G-*	31824.01	34698.45	66522.46
	1-B-*	31614.16	35009.69	66623.85
	1-T-*	24855.57	37818.24	62673.81
İzmir	2-T-o	26669.15	42928.75	69597.90
	2-K-*	24291.72	43621.86	67913.58
	2-D-*	24269.45	43714.38	67983.83
	2-G-*	24190.60	43872.88	68063.48
	2-B-*	23950.02	44221.68	68171.70
	2-T-*	16960.34	47228.93	64189.27
Ankara	3-T-o	49383.88	23744.50	73128.38
	3-K-*	46566.16	24565	71131.16
	3-D-*	46531.22	24649.43	71180.65
	3-G-*	46436.64	24764.32	71200.96
	3-B-*	46143.91	25033.31	71177.22
	3-T-*	37598.94	28136.78	65735.72

4.4 Sonuçların enerji etkinlik açısından değerlendirilmesi

Çalışmada elde edilen sonuçlara göre, bitkilendirilmiş cephe sistemlerinde, üç farklı şehirde de, iç ortam sıcaklığı tüm aylarda yükselmiş, elde edilen ısı kazancına bağlı olarak ısıtma enerjisi yükü azalmıştır. Böylece, bitkilendirilmiş cephe uygulamasıyla binanın ısıtma enerjisi ve toplam enerji tüketiminde azalma olduğu saptanmıştır.

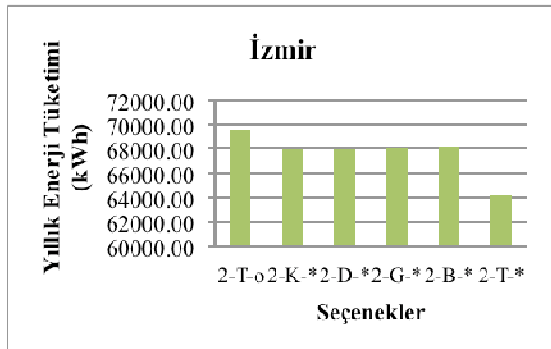
İstanbul ili için seçeneklerin karşılaştırıldığı, bitkilendirilmiş yönlerin değişimine bağlı olarak toplam enerji tüketimi ve fayda oranını gösteren sonuçlar Şekil 5'te görülmektedir.



Seçenekler	Toplam Fayda Oranı (%)	Isıtma Yükü Fayda Oranı (%)	Soğutma Yükü Fayda Oranı (%)
1-K-*	2.23	6.54	-2.13
1-D-*	2.16	6.59	-2.31
1-G-*	2.05	6.75	-2.70
1-B-*	1.90	7.36	-3.62
1-T-*	7.72	27.17	-11.93

Şekil 5: İstanbul ili seçeneklerinin toplam enerji tüketimleri ve fayda oranları.

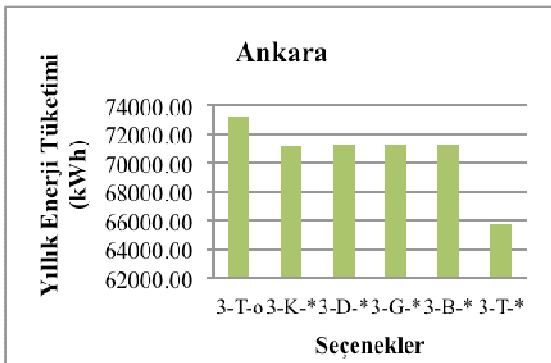
İzmir ili için seçeneklerin karşılaştırıldığı, bitkilendirilmiş yönlerin değişimine bağlı olarak toplam enerji tüketimi ve fayda oranını gösteren sonuçlar Şekil 6'da görülmektedir.



Seçenekler	Toplam Fayda Oranı (%)	Isıtma Yükü Fayda Oranı (%)	Soğutma Yükü Fayda Oranı (%)
2-K-*	2.42	8.91	-1.61
2-D-*	2.32	9.00	-1.83
2-G-*	2.20	9.29	-2.20
2-B-*	2.05	10.20	-3.01
2-T-*	7.77	36.40	-10.02

Şekil 6: İzmir ili seçeneklerinin toplam enerji tüketimleri ve fayda oranları.

Ankara ili için seçeneklerin karşılaştırıldığı, bitkilendirilmiş yönlerin değişimine bağlı olarak toplam enerji tüketimi ve fayda oranını gösteren sonuçlar Şekil 7'de görülmektedir.



Seçenekler	Toplam Fayda Oranı (%)	Isıtma Yükü Fayda Oranı (%)	Soğutma Yükü Fayda Oranı (%)
3-K-*	2.73	5.71	-3.46
3-D-*	2.66	5.78	-3.81
3-G-*	2.64	5.97	-4.29
3-B-*	2.67	6.56	-5.43
3-T-*	10.11	23.86	-18.50

Şekil 7: Ankara ili seçeneklerinin toplam enerji tüketimleri ve fayda oranları.

Üç farklı derece gün bölgesinden seçilen İstanbul, İzmir ve Ankara illerinin kendi aralarındaki fayda oranları grafiği Çizelge 4'te görüldüğü gibidir.

Çizelge 4: İllerin toplam enerji tüketimleri açısından fayda oranları (%).

	İstanbul	İzmir	Ankara
Kuzey cephesi	2.23	2.42	2.73
Doğu cephesi	2.16	2.32	2.66
Güney cephesi	2.05	2.20	2.64
Batı cephesi	1.90	2.05	2.67
Tüm cepheler	7.72	7.77	10.11

5. Sonuçlar

Yapılan benzetimlere göre düşey yeşil sistemler, 3 farklı ilde ve farklı yönlerde kullanıma bağlı olarak oluşturulan tüm seçeneklerde, uygulandığı binanın ısıtma ve toplam enerji tüketimini azaltmakta, soğutma tüketimini ise arttırmaktadır.

Uygulama çalışmasında bina modeli oluşturulurken belirlenen sabit verilerin değiştirilmesi ile farklı sonuçlar almak mümkündür. Şehir içindeki bina yerleşimlerinin farklı şekillerde oluşturulması ile, gölgelenme durumuna bağlı olarak ısıtma, soğutma ve toplam enerji yükleri için farklı sonuçlar elde edilecektir. Bu konu ile ilgili olarak yapılan duyarlılık analizleri göstermiştir ki; tüm cephelerin bitkilendirildiği seçenekte, modellenen binanın kırsalda olduğu varsayılp çevre binalar kaldırıldığında; sonuçlarda soğutma yükü açısından %31 kayıp, ısıtma yükü açısından %28 kazanç oluşmaktadır. Dolayısıyla, düşey yeşil sistemin şehir içinde konumlanmış bir binada kullanılması halinde, gölgelenme durumuna bağlı olarak toplam enerji tüketimi açısından daha faydalı sonuçlar elde edilecektir. Ayrıca, benzetim yapılacak bina modeli için seçilen düşey yeşil sistem tipinin değiştirilmesi de, katmanlaşmada kullanılan bileşenlerin özelliklerine bağlı olarak sonuçların değişmesine neden olacaktır. Yaşayan duvar-Yerinde yapım-Keçe katmanlı olarak seçilen tipe; mevcut duvar katmanlaşmasına 10cm bitki ve 10cm toprak katmanları eklenmiştir. Bu durum, duvarın yalıtım ve sızdırmazlık özelliğini arttırmış, soğutma yüklerinin ise artmasına neden olmuştur. Düşey yeşil sistem tipinde yeşil cephe seçilmesi halinde, katmanlaşmada toprağın olmayışı ve bu tipe en uygun bitkilerde yaprak dokusunun daha seyrek oluşu nedeniyle, sonuçların soğutma yükü açısından daha faydalı çıkabileceği düşünülmektedir.

Benzetim sonuçları doğrultusunda, en faydalı durumun soğuk iklim bölgesinde yer alan Ankara ilindeki tüm cephelerin bitkilendirildiği seçenekler için gerçekleştiği görülmektedir. Diğer taraftan, sıcak iklim bölgeleri için seçilecek düşey yeşil sistem tipinin, toprak katmanı içermemesi nedeniyle yeşil cephe tipinde olması daha uygun olacaktır.

Düşey yeşil sistemler, mimaride yeni ve çevreye duyarlı anlayışlar geliştirmek ve daha yaşanabilir kentler meydana getirmek için önemi göz ardı edilemeyecek çözümlerdir. Çalışma kapsamında enerji ile ilgili sağladığı yararların kanıtlandığı bu sistemlerin ülkemizde daha çok tanıtımı yapılmalı ve kullanımı teşvik edilmelidir.

6. Kaynaklar

- [1] **Kentleşme Şurası** (2009). İklim Değişikliği, Doğal Kaynaklar, Ekolojik Denge, Enerji Verimliliği ve Kentleşme Komisyonu Raporu, No:6, Ankara.
- [2] **Yüksel, D. Ü.** (2005). Ankara Kentinde Kentsel Isı Adası Etkisinin Yaz Aylarında Uzaktan Algılama ve Meteorolojik Gözlemlere Dayalı Olarak Saptanması ve Değerlendirilmesi Üzerine Bir Araştırma, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Peyzaj Mimarlığı Anabilim Dalı, 2005, Ankara.
- [3] **ÇOB** (2007). Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Kapsamında Türkiye İklim Değişikliği Birinci Ulusal Bildirimi, Ankara.
- [4] **Köhler, M.** (2008). Urban Ecosystems, Green Facades-a view back and somevisions, Vol.11, pp.423-436.
- [5] **Dunnet, N. ve Kingsbury, N.** (2008). Planting Green Roofs and Living Walls, Timber Press, Londra.
- [6] **Yu-Peng Yeh** (2010). Green Wall; The Creative Solution in Response to the Urban Heat Island Effect, National Chung-Hsing University.
- [7] <<http://toprakvesu.com/pages/Hidroponik-Nedir%3F.html>>, alındığı tarih 09.12.2013.
- [8] <<https://courses.washington.edu/gehlstud/gehl-studio/wp-content/themes/gehl-studio/downloads/Winter2010/MFOpark.pdf>>, alındığı tarih 18.11.2013.
- [9] <<http://architizer.com/projects/aeronautical-cultural-center/>>, alındığı tarih 18.11.2013.
- [10] <<http://inhabitat.com/urbanarbolismo-unveils-gorgeous-vertical-garden-set-within-a-sweeping-ceramic-facade/>>, alındığı tarih 18.11.2013.
- [11] **Getting Started with EnergyPlus** (2013). Basic Concepts Manual-Essential Information You Need about Running EnergyPlus, US Department of Energy, ABD.