Yeşil Çatılarda Bitki Taşıyıcı Tabaka Derinliği ve Yaprak Alan İndeksinin Enerji Performans Değerlendirmesi

Deniz SAYLAM CANIM

Dr. Yük. Mimar
Karadeniz Teknik Üniversitesi
Mimarlık Fakültesi
Trabzon
dsaylam@hotmail.com
orcid: 0000-0002-0500-3337

ÖZ

Yeşil bina uygulamaları için önemli bir çözüm olarak karşımıza çıkan yeşil çatılar, su tutma kapasiteleri ile kentsel ısı adası etkisini azaltmakta, karbondioksit salımını düşürmekte, biyolojik çeşitliliğe katkı sağlamakta ve ses yalıtımı yapmaktadır. Yeşil çatılar geleneksel çatılardan farklıdır, çünkü bir ısı emicisi olarak ihtiyacına göre enerjiyi toplayan, işleyen ve serbest bırakan aktif bir enerji cihazı gibi hareket etmektedirler.

Bitki türü, yaprak alan indeksi (LAI), bitki taşıyıcı tabaka derinliği ve bulunduğu iklim yeşil çatının enerji performansını etkileyen önemli parametrelerdir. Bu çalışmada konut binalarında farklı bitki taşıyıcı tabaka derinliği ve yaprak alan indeksleri kombinasyonları ile oluşturulan yeşil çatı alternatiflerinin yıllık toplam ısıtma ve soğutma enerji yüklerine ve çatıdan ısı akışına etkisi değerlendirilmiştir. Çalışma Design Builder - 3D grafik tasarım modellemesi ve enerji simülasyon programı kullanılarak ılımlı-kuru, ılımlı-nemli ve sıcak-nemli olmak üzere üç farklı iklim bölgesinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmaların sonuçları yeşil çatının bina enerji yüklerini azalttığını göstermektedir. Yeşil çatı uygulamaları ile bina toplam ısıtma yüklerinde ortalama %9-20 aralığında verim elde etmek, çatıdan ısı akışını ise %40-75 oranlarında azaltmak mümkün olabilmektedir.

Anahtar Kelimeler
Yeşil Çatı, Bina Enerji Yükleri, Çatıdan Isı Akışı.

Energy Performance Evaluation of Plant Carrier Layer Depth and Leaf Area Index in Green Roofs

ABSTRACT

Green roofs, which are an important solution for green building applications, reduce the effect of the urban heat island with their water holding capacities, reduce carbon dioxide emission, contribute to biodiversity and make a good sound insulation. Green roofs are different from conventional roofs because they act as an active energy device that collects, processes and releases energy according to its needs as a heat sink.

Plant species, leaf area index (LAI), plant carrier layer depth and climate are important parameters affecting the energy performance of the green roof. In this study, the effect of green roof alternatives, which are formed by different plant carrier layer depth and leaf area index in residential buildings, on total heating and cooling energy loads and heat flow from roof are evaluated. The study was carried out in three different climatic regions: moderate-dry, moderate-humid and hot-humid using Design Builder-3D graphic design modelling and energy simulation program. The results of the studies show that the green roof reduces building energy loads. With the green roof applications, it is possible to achieve an average efficiency of 9-20% in total heating loads and to reduce the heat flow from the roof by 40-75%.

Keywords
Green Roof, Building Energy Loads, Heat Flow From Roof.

Geliş Tarihi : 07.01.2019
Kabul Tarihi : 04.02.2019

Canım, D. S., Yeşil Çatılarda Bitki Taşıyıcı Tabaka Derinliği ve Yaprak Alan İndeksinin Enerji Performans Değerlendirmesi, 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, sf. 1779-1789, 17-20 Nisan 2019.

1. GİRİŞ

Yeşil bina uygulamaları için önemli bir çözüm olarak karşımıza çıkan yeşil çatılar, su tutma kapasiteleri ile kentsel ısı adası etkisini [1] ve karbondioksit salımını azaltmakta, biyolojik çeşitliliğe katkı sağlamakta ve ses yalıtımı yapmaktadır [2]. Ekolojik çatılar, canlı çatılar veya bitki örtülü çatılar olarak da bilinen bu çatılar kısmen veya tamamen bitki örtüsüyle kaplı, bitki taşıyıcı tabaka ile termal kütle etkisi oluşturan kök bariyer, drenaj ve sulama sistemleri gibi ek katmanlar da içerebilen çatılardır. Yeşil çatılar geleneksel çatılardan farklıdır, çünkü bir ısı emicisi olarak ihtiyacına göre enerjiyi toplayan, işleyen ve serbest bırakan aktif bir enerji cihazı gibi hareket ederler. Çatıdaki bitkilerin evapotranspirasyonu bitki taşıyıcı tabakadaki ve bitki yüzeyindeki suyu buharlaştırmak için ısıyı kullanarak çatının serinlemesine yardımcı olmaktadır. Ayrıca, bitkiler tarafından sağlanan gölgelendirme, çatıya çarpan güneş ışığı miktarını azaltır. Bu durum, binanın soğutma yükünü azaltmaya yardımcı olarak, enerji tüketiminin ve buna bağlı atmosferik karbon çıkışının azalmasına neden olur [3].

Bitki türü, yaprak alan indeksi (LAI), bitki taşıyıcı tabaka derinliği ve bulunduğu iklim yeşil çatının göstereceği enerji performansını etkileyen önemli parametrelerdir. Bu çalışmada konut binalarında farklı bitki taşıyıcı tabaka derinliği ve yaprak alan indeksleri kombinasyonları ile oluşturulan yeşil çatı alternatiflerinin yıllık ısıtma ve soğutma enerji yüklerine ve çatı içerisindeki ısı akışına etkisi değerlendirilmiştir. Çalışma Design Builder - 3D grafik tasarım modellemesi ve enerji simülasyon programı kullanılarak ılımlı-kuru, ılımlı-nemli ve sıcak-nemli olmak üzere üç farklı iklim bölgesi için gerçekleştirilmiştir.

2. YEŞİL ÇATI SİSTEMLERİ ve ÖZELLİKLERİ

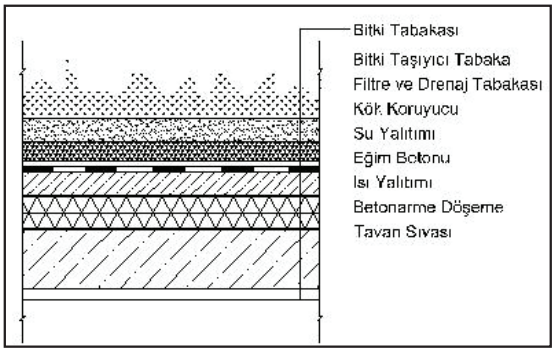
Yeşil çatılar bitki taşıyıcı tabaka derinliği ve bitkilendirilme durumuna göre ekstensif ve intensif olmak üzere ikiye ayrılırlar. Ekstensif yeşil çatı seyrek bitkilendirilmiş yeşil çatılara verilen isimdir. Bitki taşıyıcı tabaka derinliği 60-200 mm arasında değişen, daha hafif bu nedenle de maliyeti daha düşük çatılardır. Ekstensif çatılara bakım amaçlı çıkılabilir. Seçilen bitki türleri genellikle kuraklığa ve hatta zaman zaman su içinde kalmaya dayanıklı, rejenerasyon yeteneği yüksek, çok az bakım gerektiren, sığ ve az verimli topraklarda yaşayabilen ve yatay yönde gelişen bitkilerdir. İntensif yeşil çatı ise bitki taşıyıcı tabaka derinliği 200-1000 mm olan, yoğun bitkilendirilmiş, sulama ve bakım gerektiren, daha ağır, bu nedenlerle de daha maliyetli çatılardır. İntensif çatılar kökleri derin olan çalı ve ağaç gibi büyük bitkilerin yetişebileceği ortam sunarlar.

2.1. Yeşil Çatıda Kullanılan Katmanlar

Çatılar bitkilere doğal ortamların aksine, sınırlı bakım ve gelişim olanaklarına uyum göstermeleri gereken özel bir mekan sunmaktadır. Gerek çatının yapısal özellikleri, gerekse bitkilendirme için hazırlanacak bitki taşıyıcı tabaka özellikleri nedeniyle çatı örtüsünde belirli nitelikler aranır. Bu niteliklerin tamamı tek bir tabakada bulunamayacağı için genellikle tabakalar halinde bir örtüleme yöntemi uygulanmaktadır [4]. Yeşil çatıyı oluşturan tabakalar:

- Bitki
- Bitki taşıyıcı tabaka
- Filtre ve drenaj tabakası
- Kök koruyucu,
- Su yalıtımı
- Isı yalıtımı (opsiyonlu)
- Çatı konstrüksiyonu

olarak sıralanabilir. Şekil 1'de örnek bir yeşil çatı kesiti verilmiştir.



Şekil 1. Yeşil çatı kesiti

1. Bitki

Yeşil çatılarda bitki seçimi yapılırken, bitkilerin köklerini geliştirebileceği toprak tabakası sınırlı olduğu için, en az besin maddeleriyle yetinebilecek bitki türlerinin tercih edilmesi önemlidir. Bitkile-

rin sıcağa, kurağa ve dona dayanıklı olmaları gerekmektedir [5].

Bitkilerin çatılardaki önemi sadece fiziksel ve psikolojik olmayıp ayrıca kullanılan bitkinin yaprak cinsi, yaprak yüzey alanı gibi özelliklerinden de kaynaklı binaya ve çevreye sağlayacağı faydalar bulunmaktadır. Bitkileri birbirinden ayırmaya imkan sağlayan yaprak alan indeksi LAI (Leaf Area Indeks) de bitki seçiminde önemlidir. Bu değer toprak yüzeyindeki bitkinin birim alan başına düşen yaprak alanıdır ve genelde 0,001 ile 5 değerleri arasındadır. Bu değer ile bitkinin çatılarda oluşturduğu yaprak alanına paralel evapotranspirasyon ve gölgeleme etkisi değişmektedir [6].

2. Bitki taşıyıcı tabaka

Bitkilerin içinde kök geliştirebildikleri tabakadır. Bu tabaka fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri nedeniyle bitki yetişmesi için gerekli ortamı oluşturarak yağmur sularının ve sulama suyunun bir kısmını bitkinin kullanabileceği biçimde biriktirmekte ve suyun fazlasını drenaj tabakasına iletmektedir [4].

3. Filtre ve drenaj tabakası

Bitki taşıyıcı katmanın su tutması nedeniyle fiziksel özelliklerinin bozulmasını önlemek için, fazla suyun da drene olması gerekmektedir. Drenaj tabakasındaki suyun gönderilmesi köklerin oksijen gereksinimi için yeterli hava ha cmini elde etmesi bakımından da gereklidir. Materyal kural olarak; hafif, boşluklu, atmosfer koşullarına ve suya dayanıklı, uzun ömürlü, kimyasal ve fiziksel ayrışmaya uğramayan, bitkilere zararlı olacak reaksiyonlara girmeyen bir yapıya sahip yapay veya doğal malzemelerden seçilir [7].

4. Kök koruyucu

Yeşil çatıyı oluşturan katmanların ve bitki köklerinin yalıtım malzemelerine zarar vermesini önlemek için keçe veya benzeri materyalden yapılmış ayırıcı bir tabakadır. Kök tutucu katman iki şekilde oluşturulabilir. İlk yöntem diğer katmanlarda olduğu gibi bu gereksinim için keçe gibi bir koruyucu malzemenin kullanılmasıdır. İkinci yöntem ise yalıtım üzerine kullanılan şap gibi beton yüzeylere çeşitli kimyasallar yardımı ile kök tutuculuk özelliğinin kazandırılmasıdır [7].

5. Yalıtım ve çatı konstrüksiyonu

Yeşil çatının en önemli ön şartı, iyi bir su yalıtımının ve yeterli taşıyıcılığı olan sağlam bir çatı konstrüksiyonunun varlığıdır.

2.2. Yeşil Çatıda Isı Transferi

Yeşil çatıların yüzyıllar boyunca çevre dostu bir çözüm olarak kullanılmış olması ve daha sürdürülebilir yapılara ve şehirlere sağlayabileceği katkılar farklı iklim koşullarına sahip birçok ülkede önerilmesini ve teşvik edilmesini sağlamıştır. Yeşil çatının bina enerji yüklerine etkisi meydana gelen üç ana olay ile açıklanabilmektedir [8]:

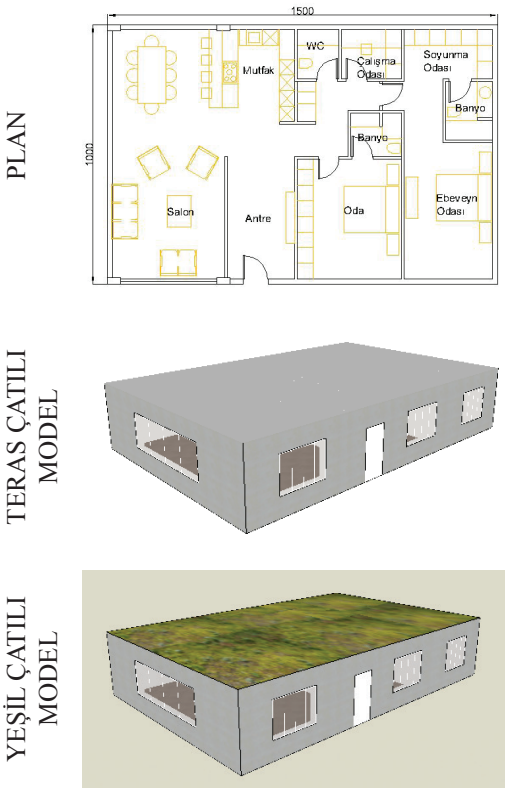
- Toprak, yüksek termal kapasite ve düşük ısı iletimi ile termal bir kütle olarak davranır;
- Yapraklar, konveksiyon ile ısı değişimini önleyen bir gölgeleme cihazı gibi davranarak fotosentezin hayati süreci için termal enerjinin bir kısmını emer;
- Bitki ve bitki taşıyıcı tabaka, buharlaşma ve evapotranspirasyon ile soğutma sağlar.

Yeşil çatılar, gelen güneş radyasyonunun binaya ulaşmasını engelleyen pasif bir soğutma tekniğidir. Geçtiğimiz 10 yıl boyunca, yeşil çatıların bina enerji yüklerine potansiyel faydalarını değerlendirmek için birçok çalışma yapılmış ve kış ısıtmasında azaltma, yaz soğutmasında ise fayda sağlayabilecekleri gösterilmiştir [9].

3. YEŞİL ÇATILARIN ENERJİ PERFORMANSI ÜZERİNE ÖRNEK ÇALIŞMA

Konut binalarında farklı bitki taşıyıcı tabaka derinliği ve yaprak alan indeksleri kombinasyonları ile oluşturulan yeşil çatı alternatiflerinin yıllık ısıtma ve soğutma enerji yüklerine ve çatı içerisindeki ısı akışına etkisini değerlendirmek amacıyla yapılan bu çalışmada kullanılmak üzere örnek bir referans bina oluşturulmuştur. Oluşturulan referans bina, 15 mx10 m boyutlarında yaklaşık 150 m^2 taban alanına sahip tek katlı, teras çatılı bir konut binasıdır. Referans bina plan ve model görünüşü Şekil 2'de verilmiştir.

Çalışmada, seçilen parametrelerin sonuca etkisini karşılaştırabilmek için referans binanın çatısı önce teras çatı olarak oluşturulmuştur. Çatıya basınca dayanımından dolayı XPS ısı yalıtımı uygulanmış, çatı bileşenlerini dış etkenlere karşı korumak amacıyla en üst katman olarak çakıl tercih edilmiştir. Dış duvar gövde malzemesi olarak ısı geçirgenliğinin düşük olmasından dolayı gazbeton, ısı yalıtım



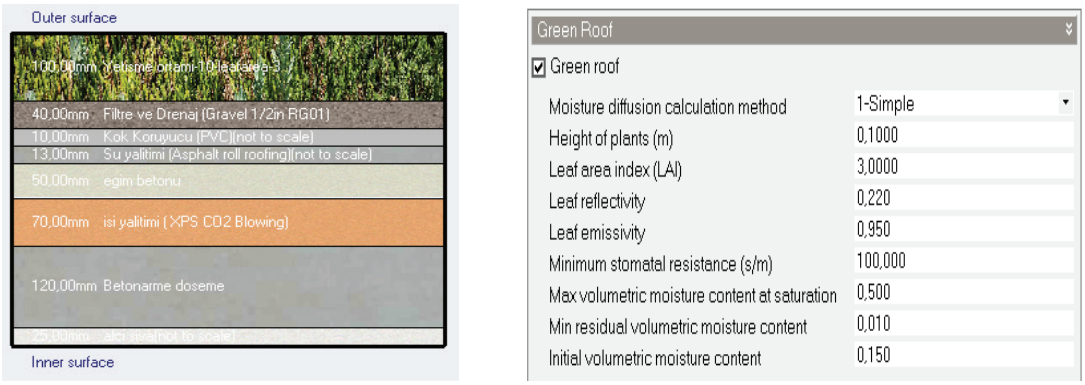
Şekil 2. Referans bina plan ve model görünüşü

malzemesi olarak ise yaygın kullanımından dolayı Genleştirilmiş Polistren (EPS) tercih edilmiştir. Binanın toplam kabuk saydamlık oranı %30, pencere sistemi, çift cam üniteli, PVC doğramalı, boşluk gazı argon 6 mmx13 mmx6 mm olarak kabul edilmiştir. Referans bina kabuk bileşen kesitleri ve özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Daha sonra aynı referans bina üzerine, seyrek ve yoğun yeşil çatı sistemi uygulanmıştır. Design Builder modelleme ortamında, yeşil çatı, çatı konstrüksiyonunun dış katmanını oluşturan "Ecoroof" malzemesi olarak bulunmaktadır. Modellenen yeşil çatı, dıştan içe bitki tabakası, belirli derinlikte bitki taşıyıcı tabaka (toprak), filtre ve drenaj (çakıl) tabakası, bir kök koruyucu membranı, su yalıtım membranı, eğim betonu, ısı yalıtımı (XPS) ve betonarme çatı döşemesinden oluşmaktadır. Modellenen yeşil çatı kesiti Şekil 3.a'da, yeşil çatı tipini tanımlamaya yardımcı olan bitki ve bitki taşıyıcı tabakaya ait belirli parametreler ise Şekil 3.b'de gösterilmiştir.

Yeşil çatıyı oluşturan her bir katmandan ısı geçişi farklı şekilde oluşur. Bitki taşıyıcı tabaka derinliği ve seçilen bitki türü farklı U-değerleri nedeniyle yalıtım değerlerini değiştirir. Ayrıca, topraktaki nem içeriği, içinden geçen ısı akışını etkiler. Modellenen yeşil çatı sulanmamaktadır.

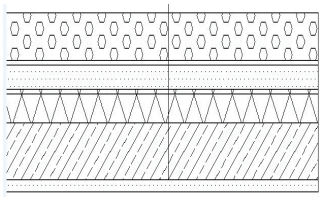
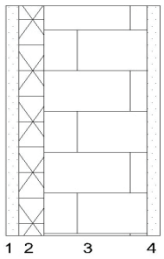
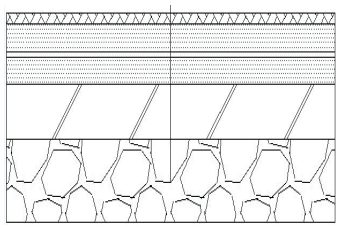
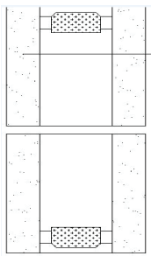
Oluşturulan referans teras çatı ve farklı yeşil çatı alternatifleri ılımlı-kuru (ısıtma + soğutma hakim iklimlendirme), ılımlı-nemli (ısıtma hakim iklimlendirme) ve sıcak-nemli (soğutma hakim iklimlendirme) olmak üzere üç farklı iklim bölgesinden seçilen pilot illerde (sırasıyla Ankara, Trabzon, İzmir) test edilmiştir. Hesaplamaların yapılabilmesi için ihtiyaç duyulan iklimsel veriler Ankara (Enlem: 40,120, Boylam 33,000, Deniz seviyesinden yükseklik: 949 m) ve İzmir (Enlem: 38,520, Boylam: 27,020, Deniz seviyesinden yükseklik: 5 m) illeri için yazılımın içerisinde bulunan iklimsel verilerin yer aldığı dosyalardan sağlanmıştır. Trabzon iline ait iklim verileri ise, ".epw" ve ".stat" uzantılı dosyalar ile programda tanımlanmıştır.



a *b*

Şekil 3. a. Design Builder'da modellenen yeşil çatı katmanları, b. Bitki ve bitki taşıyıcı tabakaya ait parametreler

Tablo 1. Referans Bina Kabuk Bileşen Kesitleri ve Özellikleri

	Bileşenler	Katmanlar	λ	d (cm)	U (W/m²K)
Teras Çatı		Çakıl	0,36	4	0,39
		Su yalıtımı	0,027	1,3	
		Eğim betonu	0,8	5	
		XPS ısı yalıtımı	0,034	7	
		B.A Döşeme	2,5	12	
		Alçı sıva	0,25	2,5	
Dış Duvar		Dış sıva	0,3	2,5	0,50
		EPS ısı yalıtımı	0,040	5	
		Gazbeton blok	0,51	20	
		Alçı sıva	0,25	2,5	
Zemin Döşemesi		Ahşap parke	0,14	2	0,32
		Koruma betonu	0,8	5	
		XPS ısı yalıtımı	0,034	7	
		Eğim betonu	0,8	5	
		Su yalıtımı	0,027	1,3	
		Grobeton	0,8	10	
		Blokaj	0,36	15	
Saydam Bileşen		Cam (6 mm) Argon gazı (13 mm) Cam (6 mm)	2,66		

Design Builder Simülasyon programında bitki taşıyıcı tabaka derinliği >5 cm, <70 cm olarak sınırlandırılmıştır. Bu nedenle oluşturulan extensif ve intensif yeşil çatının bitki taşıyıcı tabaka derinlikleri belirlenirken minimum değerler olması nedeniyle 60 ve 200 mm derinlikler baz alınmış, bitki yaprak alan indeksi (LAI) olarak ise 1, 3 ve 5 katsayıları belirlenmiştir. Bütün bu parametrelerin kombinasyonu sonucunda toplam 18 farklı yeşil çatı alternatifi oluşturulmuş (Tablo 2) ve her bir alternatifin modellemesi yapılarak simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonunda yıllık ısıtma-soğutma enerji yükleri ve çatıdan ısı akışı belirlenmiş, sonuçlar referans çatı ile kıyaslanmıştır.

Tablo 2. Test Edilen Yeşil Çatı Parametreleri

İklim bölgesi	Sıcak - Nemli, İzmir
	Ilımlı - Kuru, Ankara
	Ilımlı - Nemli, Trabzon
Bitki taşıyıcı tabaka derinliği	6 cm
	20 cm
Yaprak alan indeksi	LAI 1
	LAI 3
	LAI 5
Toplam kombinasyon sayısı	18

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Türkiye'nin ılımlı-kuru iklim bölgesinde bulunan Ankara, ılımlı-nemli iklim bölgesinde bulunan Trabzon ve sıcak-nemli iklim bölgesinde bulunan İzmir illerinde; oluşturulan referans bina ve yeşil çatı alternatiflerinin 1 yıllık periyoda göre simülasyonları yapılmış, sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3'te verilen sonuçlara göre birim alandaki yıllık toplam ısıtma yükleri üç ilde analiz edildiğinde; Ankara ilinde 6 cm bitki taşıyıcı tabaka derinliğindeki yeşil çatı ile yapılan hesaplamalarda yıllık toplam ısıtma yükünde referans çatıya göre ortalama %8,8 verim elde edilmiştir. 6 cm bitki taşıyıcı tabaka derinliği ve yaprak alan indeksinin (LAI) 3 kabul edildiği alternatif LAI:1 ve LAI:5'e göre daha iyi sonuç vermiş ve yıllık toplam ısıtma yükünde %9 verim sağlamıştır. 20 cm bitki taşıyıcı tabaka derinliğindeki yeşil çatı ile yapılan hesaplamalarda ise, yıllık toplam ısıtma yükünde referans çatıya göre ortalama %13 verim elde edilmiştir. 20 cm bitki taşıyıcı tabaka derinliği ve yaprak alan indeksinin (LAI) 1 kabul edildiği alternatif LAI:3 ve LAI:5'e göre daha iyi sonuç vermiş ve yıllık toplam ısıtma yükünde %13,6 verim sağlamıştır.

Trabzon ilinde 6 cm bitki taşıyıcı tabaka derinliğindeki yeşil çatı ile yapılan hesaplamalarda yıllık toplam ısıtma yükünde referans çatıya göre ortalama %11 verim elde edilmiştir. 6 cm bitki taşıyıcı tabaka derinliği ve yaprak alan indeksinin (LAI) 1 kabul edildiği alternatif LAI:3 ve LAI:5'e göre daha iyi sonuç vermiş ve yıllık toplam ısıtma yükünde %12,2 verim sağlamıştır. 20 cm bitki taşıyıcı tabaka derinliğindeki yeşil çatı ile yapılan hesaplamalarda ise, yıllık toplam ısıtma yükünde referans çatıya göre ortalama %16 verim elde edilmiş, 20 cm bitki taşıyıcı tabaka derinliği ve yaprak alan indeksinin (LAI) 1 kabul edildiği alternatif LAI:3 ve LAI:5'e göre daha iyi sonuç vermiş ve yıllık toplam ısıtma yükünde %17,1 verim sağlamıştır.

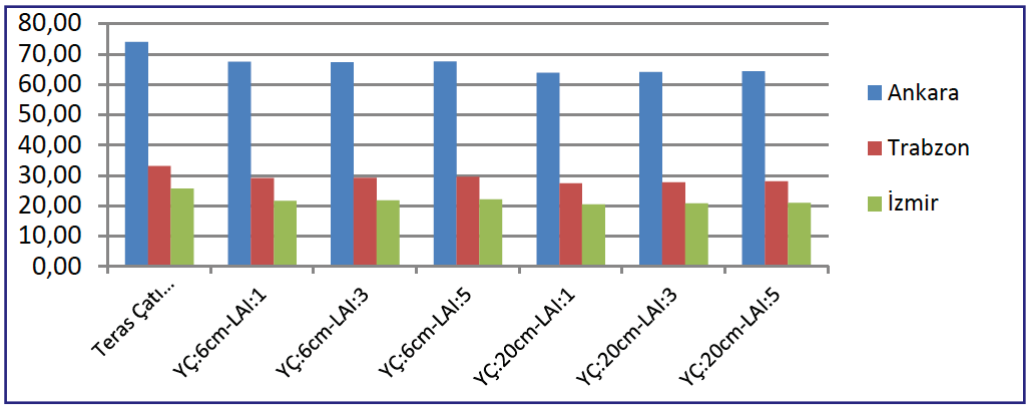
Tablo 3. Ankara, Trabzon ve İzmir İlinde Gerçekleştirilen Simülasyon Sonuçları

		Birim Alandaki Yıllık Top. Isıtma Yükü (KW/m²)	Verim %	Birim Alandaki Yıllık Top. Soğutma Yükü (KW/m²)	Verim %	Birim Alandaki Çatıdan Yıllık Top. Isı Kaybı (KW/m²)	Verim %
ANKARA	Teras Çatı (Referans)	73,94	-	-20,31	-	-35,31	-
	YÇ:6 cm-LAI:1	67,44	%8,8	-23,08	-%13,6	-22,18	%37,2
	YÇ:6 cm-LAI:3	67,32	%9	-22,85	-%12,5	-22,36	%36,7
	YÇ:6 cm-LAI:5	67,53	%8,7	-22,02	-%8,4	-23,88	%32,4
	YÇ:20 cm-LAI:1	63,90	%13,6	-21,39	-%5,3	-18,78	%46,8
	YÇ:20 cm-LAI:3	64,08	%13,3	-21,16	-%4,1	-19,34	%45,2
	YÇ:20 cm-LAI:5	64,31	%13	-20,44	-%0,6	-20,72	%41,3
TRABZON	Teras Çatı (Referans)	33,06	-	-17,31	-	17,73	-
	YÇ:6 cm-LAI:1	29,03	%12,2	-18,84	-%8,9	8,92	%49,7
	YÇ:6 cm-LAI:3	29,19	%11,2	-18,40	-%6,3	9,77	%44,9
	YÇ:6 cm-LAI:5	29,49	%10,8	-17,69	-%2,2	11,27	%36,4
	YÇ:20 cm-LAI:1	27,40	%17,1	-17,45	-%0,8	7,21	%59,3
	YÇ:20 cm-LAI:3	27,77	%16	-17,05	%1,5	8,30	%53,2
	YÇ:20 cm-LAI:5	28,06	%15,1	-16,42	%5,1	9,66	%45,5
İZMİR	Teras Çatı	25,27	-	33,71	-	15,54	-
	YÇ:6 cm-LAI:1	21,66	%14,3	36,26	-%7,6	5,17	%66,7
	YÇ:6 cm-LAI:3	21,76	%13,9	36,33	-%7,8	5,19	%66,6
	YÇ:6 cm-LAI:5	22,04	%12,8	35,45	-%5,2	6,85	%55,9
	YÇ:20 cm-LAI:1	20,45	%19,1	33,96	-%0,7	3,91	%74,8
	YÇ:20 cm-LAI:3	20,73	%18	33,97	-%0,7	4,28	%72,4
	YÇ:20 cm-LAI:5	20,99	%16,9	33,21	%1,5	5,75	%63

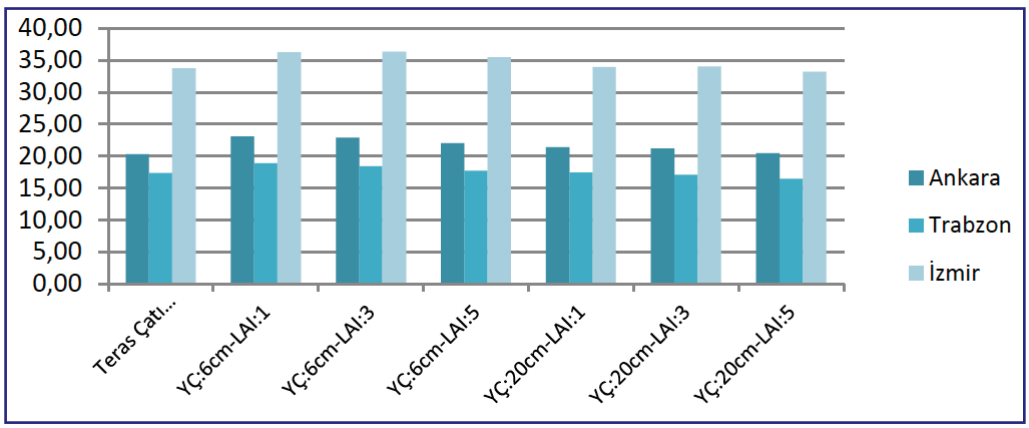
İzmir ilinde ise, 6 cm bitki taşıyıcı tabaka derinliğindeki yeşil çatı ile yapılan hesaplamalarda yıllık toplam ısıtma yükünde referans çatıya göre ortalama %14 verim elde edilmiştir. 6 cm bitki taşıyıcı tabaka derinliği ve yaprak alan indeksinin (LAI) 1 kabul edildiği alternatif LAI:3 ve LAI:5'e göre daha iyi sonuç vermiş ve yıllık toplam ısıtma yükünde %14,3 verim sağlamıştır (Tablo 3). 20 cm bitki taşıyıcı tabaka derinliğindeki yeşil çatı ile yapılan hesaplamalarda ise, yıllık toplam ısıtma yükünde referans çatıya göre ortalama %18 verim elde edilmiştir. 20 cm bitki taşıyıcı tabaka derinliği ve yaprak alan indeksinin (LAI) 1 kabul edildiği alternatif LAI:3 ve LAI:5'e göre daha iyi sonuç vermiş ve yıllık toplam ısıtma yükünde %19,1 verim sağlamıştır. Alternatiflerin Ankara, Trabzon ve İzmir illerinde birim alandaki yıllık toplam ısıtma yüklerinin karşılaştırılması Şekil 4'te verilmiştir.

Birim alandaki yıllık toplam soğutma yükleri analiz edildiğinde; Ankara ilinde 6 cm bitki taşıyıcı tabaka derinliğindeki yeşil çatı ile yapılan hesaplamalarda toplam soğutma yükü referans çatıya göre ortalama %11 artmış, 6 cm bitki taşıyıcı tabaka derinliği ve yaprak alan indeksinin (LAI) 5 kabul edildiği alternatif -%8,4'lük oran ile referans çatıya göre kaybın en az olduğu alternatif olmuştur (Tablo 3). 20 cm bitki taşıyıcı tabaka derinliğindeki yeşil çatı ile yapılan hesaplamalarda ise, toplam soğutma yükü referans çatıya göre ortalama %3,5 artmış, 20 cm bitki taşıyıcı tabaka derinliği ve yaprak alan indeksinin (LAI) 5 kabul edildiği alternatif -%0,6'lık oran ile referans çatıya göre kaybın en az olduğu alternatif olmuştur.

Trabzon ilinde 6 cm bitki taşıyıcı tabaka derinliğindeki yeşil çatı ile yapılan hesaplamalarda toplam soğutma yükü referans çatıya göre ortalama %6 artmış, 6 cm bitki taşıyıcı tabaka derinliği ve yaprak alan indeksinin (LAI) 5 kabul edildiği alternatif -%2,2'lik oran ile referans çatıya göre kaybın en az olduğu alternatif olmuştur (Tablo 3).



Şekil 4. Alternatiflerin Ankara, Trabzon ve İzmir illerinde birim alandaki yıllık toplam ısıtma yüklerinin karşılaştırılması



Şekil 5. Alternatiflerin Ankara, Trabzon ve İzmir illerinde birim alandaki yıllık toplam soğutma yüklerinin karşılaştırılması

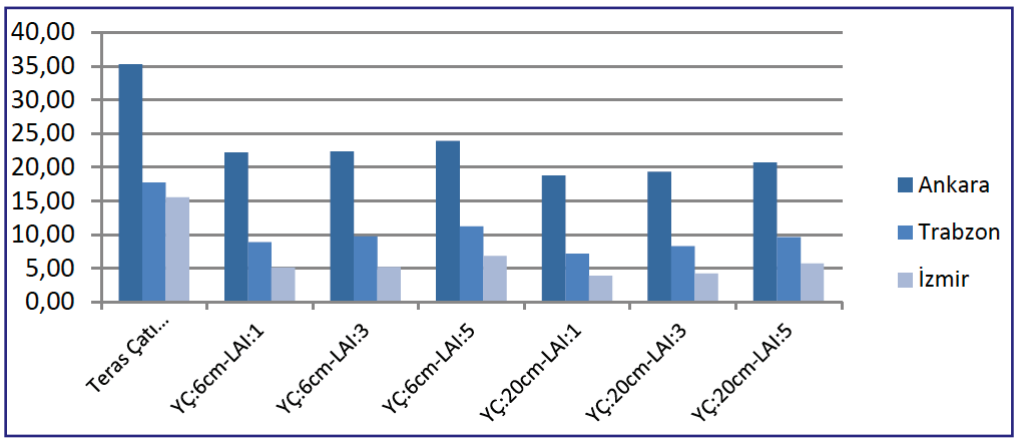
20 cm bitki taşıyıcı tabaka derinliğindeki yeşil çatı ile yapılan hesaplamalarda ise, toplam soğutma yükünde referans çatıya göre ortalama %2'lik verim elde edilmiş, 20 cm bitki taşıyıcı tabaka derinliği ve yaprak alan indeksinin (LAI) 5 kabul edildiği alternatif %5,1'lik oran ile referans çatıya göre en fazla verim elde edilen alternatif olmuştur.

İzmir ilinde 6 cm bitki taşıyıcı tabaka derinliğindeki yeşil çatı ile yapılan hesaplamalarda toplam soğutma yükü referans çatıya göre ortalama %7 artmış, 6 cm bitki taşıyıcı tabaka derinliği ve yaprak alan indeksinin (LAI) 5 kabul edildiği alternatif -%5,2'lik oran ile referans çatıya göre kaybın en az olduğu alternatif olmuştur (Tablo 3). 20 cm bitki taşıyıcı tabaka derinliğindeki yeşil çatı ile yapılan hesaplamalarda ise, toplam soğutma yükü referans çatı ile neredeyse aynı performansı göstermiş, 20 cm bitki taşıyıcı tabaka derinliği ve yaprak alan indeksinin (LAI) 5 kabul edildiği alternatif referans çatıya göre %1,5 daha verimli sonuç vererek en iyi alternatif olmuştur. Alternatiflerin Ankara, Trabzon ve İzmir illerinde birim alandaki yıllık toplam soğutma yüklerinin karşılaştırılması Şekil 5'te verilmiştir.

Birim alandaki çatıdan yıllık toplam ısı kaybı analiz edildiğinde ise; Ankara ilinde 6 cm bitki taşıyıcı tabaka derinliğindeki yeşil çatı referans çatıya oranla ortalama %35 daha verimli sonuçlar vermiş, 6 cm bitki taşıyıcı tabaka derinliği ve yaprak alan indeksinin (LAI) 1 kabul edildiği alternatif %37,2'lik verim ile çatıdan ısı kaybının en az yaşandığı alternatif olmuştur. 20 cm bitki taşıyıcı tabaka derinliğindeki yeşil çatı ise, referans çatıya oranla ortalama %44 daha verimli sonuçlar vermiş, 20 cm bitki taşıyıcı tabaka derinliği ve yaprak alan indeksinin (LAI) 1 kabul edildiği alternatif %46,8'lik verim ile çatıdan ısı kaybının en az yaşandığı alternatif olmuştur (Tablo 3).

Trabzon ilinde 6 cm bitki taşıyıcı tabaka derinliğindeki yeşil çatı referans çatıya oranla ortalama %44 daha verimli sonuçlar vermiş, 6 cm bitki taşıyıcı tabaka derinliği ve yaprak alan indeksinin (LAI) 1 kabul edildiği alternatif %49,7'lik verim ile çatıdan ısı kaybının en az yaşandığı alternatif olmuştur. 20 cm bitki taşıyıcı tabaka derinliğindeki yeşil çatı ise, refera ns çatıya oranla ortalama %51 daha verimli sonuçlar vermiş, 20 cm bitki taşıyıcı tabaka derinliği ve yaprak alan indeksinin (LAI) 1 kabul edildiği alternatif %59,3'lük verim ile çatıdan ısı kaybının en az yaşandığı alternatif olmuştur (Tablo 3).

İzmir ilinde ise, 6 cm bitki taşıyıcı tabaka derinliğindeki yeşil çatı referans çatıya oranla ortalama %62 daha verimli sonuçlar vermiş, 6 cm bitki taşıyıcı tabaka derinliği ve yaprak alan indeksinin (LAI) 1 kabul edildiği alternatif %66,7'lik verim ile çatıdan ısı kaybının en az yaşandığı alternatif olmuştur. 20 cm bitki taşıyıcı tabaka derinliğindeki yeşil çatı ise, referans çatıya oranla ortalama %70 daha verimli sonuçlar vermiş, 20 cm bitki taşıyıcı tabaka derinliği ve yaprak alan indeksinin (LAI) 1 kabul edildiği alternatif %74,8'lik verim ile çatıdan ısı kaybının en az yaşandığı alternatif olmuştur (Tablo 3). Alternatiflerin Ankara, Trabzon ve İzmir illerinde birim alandaki çatıdan yıllık toplam ısı kaybının karşılaştırılması Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Alternatiflerin Ankara, Trabzon ve İzmir illerinde birim alandaki çatıdan yıllık toplam ısı kaybının karşılaştırılması

5. SONUÇ

Isıtma yükleri açısından bakıldığında yeşil çatı alternatifleri üç iklim bölgesinde de referans çatıya göre daha verimli sonuçlar vermiştir. Ilımlı-kuru Ankara ilinde YÇ:6 cm-LAI:3 ve YÇ:20-LAI:1 alternatifleri, ılımlı-nemli Trabzon ve sıcak-nemli İzmir ilinde ise YÇ:6 cm-LAI:1 ve YÇ:20-LAI:1 alternatifleri en verimli sonuçları veren alternatiflerdir. Bu duruma yetişme ortamının yaptığı termal kütle etkisi sebep olmuş, LAI:1 oranı bitkilerin gölgeleme etkisi ve fotosentez yolu ile oluşan ısı kaybı etkisinin en az olması nedeni ile ısıtma yükünde sonuçları olumlu yönde etkilemiştir.

Soğutma yükleri açısından bakıldığında referans çatı ılımlı-kuru Ankara ilinde daha verimli olmuş, buna karşılık ılımlı-nemli Trabzon ve sıcak-nemli İzmir illerinde 20 cm yetişme tabakası kalınlığındaki yeşil çatı alternatiflerinin bazıları ile (İzmir-YÇ:20-LAI:5, Trabzon-YÇ:20-LAI:3, Trabzon-YÇ:20-LAI:5) referans çatıya göre daha verimli sonuçlar elde edilmiştir. Referans çatının soğutma yüklerinde verimli olduğu alternatif sayısının daha fazla çıkma sebebi olarak: yeşil çatı alternatiflerinde çatıdan ısı kaybının azalması sonucu binanın gece soğutmasından faydalanamaması düşünülmektedir. Yeşil çatı alternatifleri ile yapılan hesaplamalar karşılaştırıldığında ise YÇ:6 cm-LAI:5 ve YÇ:20-LAI:5 alternatifleri üç iklim bölgesinde de daha olumlu sonuçlar vermiş, LAI:5 oranı bitkilerin gölgeleme etkisi ve fotosentez yolu ile oluşan ısı kaybı etkisinin en fazla olması nedeni ile toplam soğutma yükünde sonuçları olumlu yönde etkilemiştir.

Çatıdan toplam ısı kaybına bakıldığında ise, üç iklim bölgesinde de yeşil çatı alternatifleri referans çatıya oranla daha verimli sonuçlar vermiş, YÇ:6 cm-LAI:1 ve YÇ:20-LAI:1 alternatifleri ile en verimli sonuçlar elde edilmiştir.

Yeşil çatı alternatifleri oluşturulurken yetişme tabakası kalınlığı olarak belirlenen 6 cm ve 20 cm parametrelerinin performans karşılaştırması yapılacak olunursa; Ankara ilinde 20 cm yetişme tabası kalınlığı 6 cm'e göre toplam ısıtma yükünde %5, soğutma yükünde %7, çatıdan ısı kaybında ise %15 daha fazla verim sağlamıştır. Trabzon ilinde, 20 cm yetişme tabası kalınlığı 6 cm'e göre toplam ısıtma yükünde %5,5, toplam soğutma yükünde %7 çatıdan toplam ısı kaybında ise %19 daha verimli sonuçlar vermiştir. İzmir ilinde ise, 20 cm yetişme tabası kalınlığı 6 cm'e göre toplam ısıtma yükünde %5,5 soğutma yükünde %6 çatıdan ısı kaybında ise %24 daha verimli sonuçlar vermiştir.

Sonuçlar, yeşil çatının bina enerji yükleri bakımından yadsınamaz faydalarını göstermektedir. Bunun yanında ses yalıtımı yapma, kentsel ısı adası etkisini ve yağmur suyu akış miktarını azaltma, biyo çeşitliliğe katkı sağlama, havadaki tozu tutma gibi birçok çevresel ve ekolojik faydaları da bulunan yeşil çatıları teşvik etmek için gelişmiş ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de yeni politikalar ve programların geliştirilmesi, disiplinler arası çalışmaların gerekliliği kaçınılmaz bir gerçektir.

KAYNAKLAR

[1] Getter, K.l., Rowe, D.B., "The Role of Green Roofs in Sustainable Development", Hort Science 41: 1276–1286, 2006.

[2] Dunnett, N.P., Kingsbury, N., "Planting Green Roofs and Living Walls", Portland (Or): Timber Press, 2004.

[3] Mukherjee, S., La Roche, P., Konis, K., Choi, J.H., "Thermal Performance of Green Roofs: A Parametric Study Through Energy Modelling in Different Climates", 29th Conference, Sustainable Architecture For a Renewable Future, Munich, Germany, 10-12 September 2013.

[4] Ekşi, M., "Çatı ve Teras Bahçelinde Kullanılan Konstrüksiyon Elemanları Ve Yeni Yaklaşımlar", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.

[5] Onduline, "Ondugreen Yeşil Çatı Kataloğu", 1-5, 2013.

[6] Chen, Y., "The Intervention of Plants in The Conflicts Between Buildings and Climates", Doctoral Thesis, Singapore National University , 303-307, 2006.

[7] Tokaç, T., "Bitkilendirilmiş Çatı Sistemleri İçin Tasarım Seçeneklerinin Geliştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Estitüsü, İstanbul, 1-15, 2009.

[8] La Roche, P., Berardi, U., "Comfort and Energy Savings With Active Green Roofs", Volume 82, Pages 492-504, Energy and Buildings, 2014.

[9] Castleton, H.F., Stovin, V., Beck, S.B.M., Davison, J.B., "Green Roofs; Building Energy Savings and the Potential for Retrofit", Volume 42, Issue 10, Pages 1582-1591, Energy and Buildings, 20.