

İstanbul'da Mevcut Çatı Sistemi ile Bitkilendirilmiş Çatı Sistemi Isıl Performanslarının Karşılaştırılmalı Değerlendirilmesi

Comparative Assessment of Thermal Performance of Existing Roof System and Retrofitted Green Roof System in Istanbul, Turkey

Nil TÜRKERİ,¹ M. Cem ALTUN,¹ Caner GÖÇER¹

Ülkemizde iklim değişimi önemli gündem maddelerinden biridir. Batı ve güneybatı bölümünde mevcut kent ısı adası etkisiyle yaşanan sıcaklık artışına ek olarak sıcaklıkların özellikle yaz aylarında belirgin biçimde artacağı öngörülmektedir. Artan sıcaklıklar ile binalarda soğutma amaçlı enerji talebi de artacaktır. İklim değişimine uyum önlemi olarak uygulanan stratejilerden biri de bitkilendirilmiş çatı sistemidir (BÇS). Her yıl yaklaşık olarak kaplanan 100 milyon m² çatının yarısında çatı kaplama malzemesi olarak kiremit, geri kalanında ise mineral kaplı bitümlü örtü kullanılmaktadır. BÇS'nin iklim değişimi kapsamında sağladığı faydaların bilinmesine rağmen sınırlı sayıda uygulanmasının nedeni mevcut sistemlerin yurtdışından "ithal paket sistemler" olarak uygulamaya sunulmaları ve yerel çevre şartlarına uyarlanmasının yapılmaması nedeniyle sistemlerde ısı ve nem kaynaklı erken hasarların oluşmasıdır. İstanbul Teknik Üniversitesi'nde (İTÜ), ana amacı çevreyle uyumlu bitkilendirilmiş çatı sistemleri geliştirmek olan bir araştırma projesi yürütülmektedir. Projenin alt amaçlarından biri de İstanbul gerçek hizmet şartlarında mevcut bir çatı sisteminin BCS ile iyileştirilmesi sonucunda oluşan sistem ile mevcut çatı sisteminin (MÇS) performanslarını alanda ölçüm yöntemiyle deneysel olarak ortaya koymak ve söz konusu performansları karşılaştırmalı olarak değerlendirmektir. İTÜ Ayazağa Yerleşkesinde İTÜBÇS ile İTÜMÇS inşa edilmiş ve gerekli ölçüm aletleri ile donatılmıştır. Çalışmanın ilk sonuçlarına göre ilkbahar mevsiminde yüzeyi henüz bitki ile tam örtülmemiş İTÜBÇS ile İTÜMÇS'nin güneş ışınım yansıtma oranı yaklaşık olarak aynı olmuştur. Gündüz, öğle saatlerinde İTÜBÇS toprak yüzey sıcaklık değerleri, İTÜMÇS yüzey sıcaklık değerlerinden daha düşük olmuştur. İTÜBÇS ısı kütle etkisi ile yüksek hava sıcaklık değerlerinde iç ortam sıcaklık değerlerini dengelemiştir.

Anahtar sözcükler: Bitkilendirilmiş çatı sistemi; ısı performans; alanda ölçüm.

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul.

Yapı Fiziği ve Sürdürülebilir Tasarım Kongresi'nde sözlü olarak sunulmuştur (4-5 Mart 2010, İstanbul).

Urban heat islands, temperature increase due to climate change and energy consumption due to high summer cooling load are significant issues in Turkey. International studies indicate that the green roof system serves as an energy efficient building technology. However, the thermal performance of green roofs when exposed to local climate conditions is still unknown in Turkey. A research project is being conducted at Istanbul Technical University, in which part of a low-slope existing roof system was retrofitted as an extensive green roof system and the thermal performances of both the existing roof and green roof were monitored in order to make a comparative assessment. Both the green roof and the existing roof were instrumented to measure the temperature profile within the roof systems and the solar reflectance of the roof surfaces. Local meteorological variables were also measured. Results obtained from the field monitoring revealed the following data. Reflected solar radiation from the green roof surface was slightly higher than from the existing roof surface. This was likely to be due to the fact that the plants had not yet covered the entire soil surface area of the green roof. Plants reduced the amount of heat absorbed by the growing medium during daytime through shading and reduced the surface temperature of the green roof. Ceiling temperatures of rooms under the existing roof and green roof indicated that heat transfer to the room beneath the green roof was reduced as well. The green roof reduced the heat gain due to the thermal mass of the soil. This created a buffer against daily fluctuations in temperature and minimized temperature extremes.

Key words: Green roof; thermal performance; monitoring.

¹Department of Architecture, Istanbul Technical University, Faculty of Architecture, Istanbul, Turkey.

Presented at the Building Physics and Sustainable Design Congress (March 4-5, 2010, Istanbul, Turkey).

MEGARON 2011;6(1):21-29

Başvuru tarihi: 18 Ekim 2010 (Article arrival date: October 18, 2010) - Kabul tarihi: 17 Ocak 2011 (Accepted for publication: January 17, 2011)

İletişim (Correspondence): Dr. Nil TÜRKERİ. e-posta (e-mail): sahal@itu.edu.tr

© 2011 Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi - © 2011 Yıldız Technical University, Faculty of Architecture

Giriş

Ülkemizde iklim değişimi, etkileri ve enerji verimliliği önemli gündem maddeleridir. Devlet Meteoroloji İşleri'nin 1951-1990 yılları arasında yaptığı meteorolojik ölçümlerin incelendiği çalışma, Türkiye'nin batı ve güneybatı bölümlerinde daha çok yaz mevsiminde kent ısı adası nedeniyle sıcaklık artışının yaşandığını ortaya koymuştur.¹ Bu durumun en önemli nedenlerinden biri kentleşme sonucu doğal bitki örtüsünün yerini, bitki örtüsüne nispeten su geçirimsiz, ısı depolama kapasitesi yüksek, ısı enerjisi soğuran koyu renkli çatı ve yol kaplama malzemeleri; diğer bir anlatımla tipik kent yüzeylerinin almasıdır. Örneğin, koyu renkli çatı kaplama malzemesi, üzerine gelen güneş ışınımını soğurur, böylece yüzey sıcaklığı artar; malzemede soğrulan enerji atmosfere tekrar ısı enerjisi olarak ışıdır, böylece kent dış ortam hava sıcaklığı artar; diğer bir anlatımla kent ısı adası oluşur. Kent ısı adası, soğutma ihtiyacını artırır. Ek olarak, kent halkında ciddi boyutta sağlık sorunlarına da neden olur. Ayrıca, çatı kaplama ürününde soğrulan ısı enerjisi, çatı sisteminin bünyesinden iç ortama doğru geçen ısı akış miktarını artırır; böylece, yaz aylarında soğutma ihtiyacı dolayısıyla soğutma amaçlı elektrik enerjisi tüketimi artar. Elektrik enerjisi üretiminin fosil yakıtlardan karşılandığı durumda başta CO₂ olmak üzere sera gazları emisyon miktarı artarak küresel ısınmaya neden olur. Geleceğe yönelik iklim senaryolarına göre ülkemizin batı bölümünde ve özellikle yaz aylarında 6°C'ye kadar olmak üzere Türkiye genelinde sıcaklıklarının 2°C ila 3°C artacağı öngörülmektedir.² Ülkemizde, binalarda %85 oranında ısıtma amaçlı enerji tüketilmekte ve bu enerjinin büyük bir bölümü ithal edilmektedir. Isıtma için 2004 yılındaki eğilimde enerji harcamaya devam edeceğimiz düşünülürse, nüfus artışımıza paralel olarak gelecekte daha fazla enerjiye ihtiyaç duyacağımız ve daha fazla enerji ithal edeceğimiz açıktır. Diğer bir taraftan mevcut enerji kaynakları azalacaktır. Gelecekte binalarda artacağı öngörülen enerji gereksinimi, günümüzde, binalarda enerji verimliliğinin sağlanması ile azaltılabilir. Binalarda enerji verimliliğini sağlayan en önemli bileşenlerinden biri tasarım sürecinde, ısı konfor koşullarında bir değişiklik yapmadan bina dış kabuğunu oluşturan yapı elemanlarının-çatı, dış duvar (opak saydam yüzeyler), altı açık döşeme-ısı geçirgenlik direncinin yönetmeliklerde verilen değere uygun olmasının sağlanması ve/veya artırılması, dolayısıyla kullanım sürecinde ısıtma ve soğutma amaçlı enerji tüketiminin azaltılması ve böylece mevcut enerji kaynaklarının etkin ve ekonomik kullanılması ile çevreye etkisinin azaltılmasıdır.³ Kısaca ülkemizde, iklim değişimine uyum sağlayan enerji etkin bina teknolojilerine ihtiyaç vardır.

Uluslararası çalışmalar BÇS'nin iklim değişimine uyum sağlayan enerji etkin bina teknolojilerinden biri olduğunu ortaya koymuştur. BÇS'de, gelen güneş ışınımı bitki ve bitki taşıyıcı katmanı tarafından soğurur. Ancak soğrulan enerji evapotranspirasyon -yapraklardan terleme ve bitki taşıyıcı katmandan suyun buharlaşması- amacıyla kullanılır; böylece yüzey sıcaklığı azalır ve yüzeyden atmosfere az oranda ısı enerjisi ışıması olduğu için kentin dış ortam hava sıcaklığında artış fazla olmaz. Yüzey sıcaklığının azalmasında bitkilerin gölgeleme etkisi de vardır. Ayrıca, bitki taşıyıcı katmanının ek bir ısı direnç sağladığı da ortaya konulmuştur. Toronto'da yapılan çalışma, kent alanının, kırsal alanlara nispeten 2-3°C daha sıcak olduğunu - kent ısı adası; bir atmosferik model simülasyonu ile kentte %50 oranında yeşil çatı sisteminin uygulandığı durumda, BÇS'nin kent sıcaklığında 1-2°C azalmaya neden olacağı belirlenmiştir.⁴ Singapur'da BÇS'de sürekli ölçüm yöntemiyle yürütülen bir çalışma, BÇS'nin yüzey sıcaklığını 18°C azalttığını göstermiştir.⁵ Atina'da BÇS'nin ısı performansını matematiksel bir model ile ortaya koyan çalışma, bitkilendirilmiş çatının, yüzeyine gelen toplam güneş ışınımının %27'sini yansıttığını, %60'ının yapraklar tarafından soğrulduğunu ve %13'ünün de toprağa iletildiğini ortaya koymuştur.⁶ Singapur'da yapılan bir çalışma, beş katlı ticari bir binada BÇS uygulandığı durumda yıllık enerji tüketiminde %0.6-%14.5 oranında azalma olduğunu ortaya koymuştur.⁷

Ülkemiz'de her yıl yaklaşık olarak uygulanan 100 milyon m² çatı kaplama ürününden yarısında kiremit, geri kalanında ise mineral kaplı bitümlü örtü kullanılmaktadır.⁸ BÇS'nin iklim değişimi kapsamında sağladığı faydaların bilinmesine rağmen sınırlı sayıda uygulanmaktadır. Bu durumun nedeni, ülkemizde mevcut BÇS'lerinin ya yurtdışından "ithal paket sistemler" olarak uygulamaya sunulmaları ve yerel çevre şartlarına uyarlanmasının yapılmaması ya da malzeme üreticilerinin sadece ürettikleri malzemelerin yer aldığı ancak diğer bileşenlerle ilgili bilgi veremedikleri sistemlerin bulunmasıdır. Her iki durumda da sisteminlerin yerel şartlar etkisi altında performansları bilinmemektedir.

İstanbul Teknik Üniversitesi'nde (İTÜ), ana amacı çevreyle uyumlu bitkilendirilmiş çatı sistemleri geliştir-

¹ Karaca, 1995.

² First National Communication on Climate Change, 2007.

³ Kavak, 2005.

⁴ Bass, 2002.

⁵ Hien, 2002.

⁶ Eumorfopoulou, 1998.

⁷ Wong, 2003.

⁸ Baştanoğlu, 2006.

mek olan bir araştırma projesi yürütülmektedir. Projenin alt amaçlarından biri de İstanbul'da gerçek hizmet şartlarında mevcut bir çatı sisteminin BÇS ile iyileştirilmesi sonucunda oluşan sistem ile mevcut çatı sisteminin (referans çatı sisteminin) ısı ve nem ile ilgili performanslarını alanda ölçüm yöntemiyle deneysel olarak ortaya koymak ve söz konusu performansları karşılaştırmalı olarak değerlendirmektir.

Bu makalenin amacı ise deneysel çalışma ile yöntemi tanıtmak ve elde edilen ilk ölçüm sonuçlarını vermektedir.

Gereç ve Yöntem

İTÜ Bitkilendirilmiş Test Çatı Sistemi ve İTÜ Mevcut Test Çatı Sistemi

İstanbul Teknik Üniversitesi Bitkilendirilmiş Test Çatı Sistemi (İTÜBÇS) ile İstanbul Teknik Üniversitesi Mevcut Test Çatı Sistemi (İTÜMÇS), İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Kampüsü'nde İTÜ Eski Rektörlük Binası çatısında yer almaktadır. Çatı alanı yaklaşık 739-m²'dir. Çatı formu teras çatıdır ve çatı alanı dört yönden parapet duvarı ile çevrelenmiştir. Çatıdan yağmur suyunu uzaklaştırmak için güney yönünde beş adet parapet tipi süzgeç ve düşey yağmur iniş borusu bulunmaktadır. İTÜBÇS, çatı alanının güney yönünde bir adet parapet tipi süzgeci içeren ve diğer üç yönde mevcut çatı sisteminden bir parapet duvarı ile ayrılan 60 m²'lik bir alana inşa edilmiştir (Şekil 1). İTÜBÇS katmanlaşması, iç ortamdan dış ortama doğru sırasıyla, 2 cm kalınlığında sıva, gazbeton asmolen blok dolgulu betonarme döşeme, minimum 3 cm yüksekliğinde, %1 eğimde, eğim şapı, bitümlü emülsiyon astar, bir kat buhar kesici-polyester keçe taşıyıcılı polimer bitümlü örtü, 3 kat 3 cm kalınlığında ısı yalıtımı- çekme polistren, 1 kat su

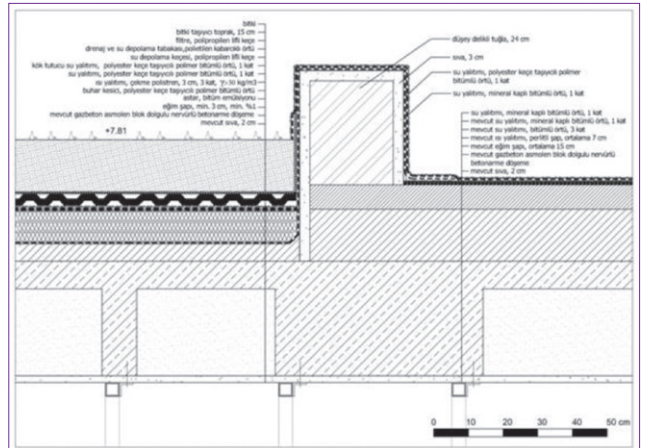
yalıtımı- polyester keçe taşıyıcılı polimer bitümlü örtü, 1 kat kök tutucu su yalıtımı- polyester keçe taşıyıcılı polimer bitümlü örtü, su depolama keçesi-polipropilen lifli keçe, drenaj ve su depolama tabakası- polietilen kabarcıklı örtü, filtre-polipropilen lifli keçe, 1/3 oranında torf, 1/3 oranında mineral esaslı toprak ve 1/3 oranında organik gübreden oluşan bitki taşıyıcı toprak ve bitkiden oluşmaktadır. Bitki tipi olarak, İTÜBÇS alanının batı yönündeki 1/3'lük alana *Cerastium tomentosum*-fare kulağı, doğu yönündeki 1/3'lük alana *Mesembryanthemum roseum*-acem halısı ve geri kalan orta alana ise her iki bitki tipi karma olarak dikilmiştir (Şekil 2). Mevcut çatı alanı İTÜMÇS olarak ele alınmaktadır. İTÜMÇS katmanlaşması, iç ortamdan dış ortama doğru sırasıyla, mevcut 2 cm kalınlığında sıva, mevcut gazbeton asmolen blok dolgulu betonarme döşeme, mevcut ortalama 15 cm yüksekliğinde eğim şapı, mevcut 7 cm kalınlığında ısı yalıtımı-perlitli şap, mevcut 2 kat su yalıtımı-polyester keçe taşıyıcılı polimer bitümlü örtü, mevcut bir kat mineral kaplı bitümlü örtü ve yeni bir kat yeşil renkli mineral kaplı bitümlü örtüdür (Şekil 2). İTÜBÇS ve İTÜMÇS altında bir adet 20 m²'lik oda bulunmakta ve her iki oda aynı şekilde iklimlendirilmektedir.

Ölçüm Düzenegi ve Veri Toplama

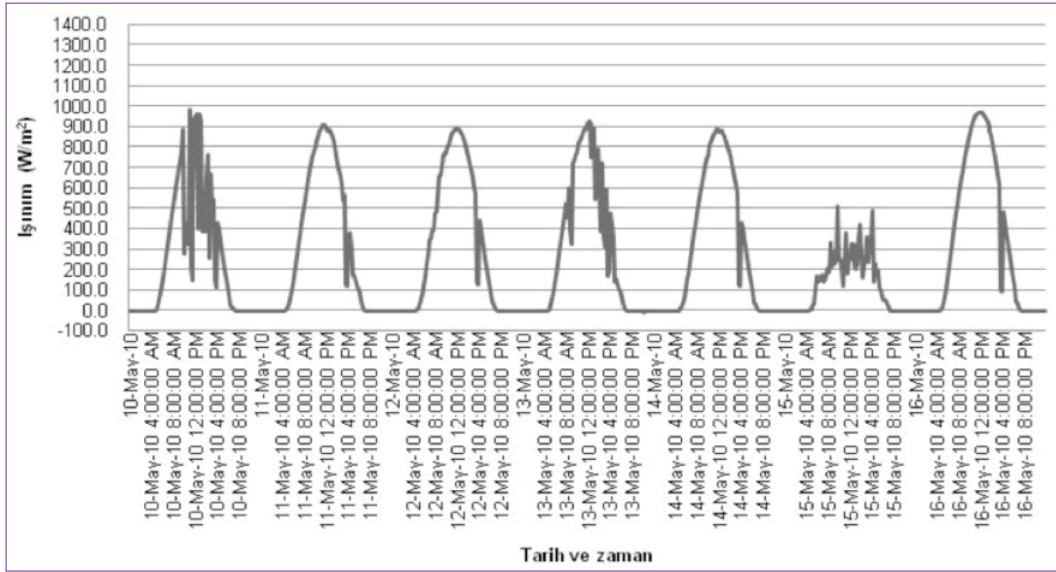
İTÜBÇS ve İTÜMÇS'de, mikro iklim, güneş ışınım şiddeti, yüzey sıcaklığı ve katmanlar arası sıcaklık değerlerini ölçmek için gerekli yerlere ilgili ölçüm aletleri yerleştirilmiştir. Dış hava sıcaklığı, bağıl nem, barometrik basınç, rüzgar hızı ve rüzgar yönü, İTÜBÇS'de çatı yüzeyinden 2 m yüksekliğinde yer alan bir direk üzerine yerleştirilmiş meteoroloji istasyonu ile ölçülmektedir, (Şekil 1). Düşey yağmur miktarı, İTÜBÇS güney yönünde yer alan parapet üstüne konumlandırılmış bir adet devrilen kovalı (*tipping bucket*) tipinde bir yağış ölçer ile



Şekil 1. Bitkilendirilmiş test çatı sistemi ile mevcut test çatı sisteminin görünüşü.



Şekil 2. Bitkilendirilmiş test çatı sistemi ile mevcut test çatı sisteminin katmanları.



Şekil 3. 10-16.05.2010 tarihlerinde toplam gelen güneş ışınım şiddeti.

ölçülmektedir (Şekil 1). Gelen toplam güneş ışınım şiddeti ile İTÜBÇS ve İTÜMÇS yüzeylerinden yansıyan güneş ışınım şiddetleri söz konusu direktteki yatay kollarda yer alan birer adet piranometre ile ölçülmektedir (Şekil 1). İTÜBÇS ve İTÜMÇS üst yüzey sıcaklıkları, söz konusu direktteki kollarda yer alan birer adet temassız kızılötesi sıcaklık sensörü, tavan yüzey sıcaklıkları da birer adet temassız kızılötesi sıcaklık sensörü ile ölçülmektedir. İTÜBÇS'nde buhar kesici-ısı yalıtımı arasındaki, ısı yalıtımı-su yalıtımı arasındaki, toprak-filtre arasındaki sıcaklıklar ile İTÜMÇS'de ısı yalıtımı-su yalıtımı arasındaki sıcaklığı ölçmek için sudan etkilenmeyen sıcaklık sensörü kullanılmaktadır. Dış hava sıcaklığı, bağıl nem, basınç, rüzgar hızı, rüzgar yönü, gelen toplam güneş ışınım şiddeti, İTÜBÇS ve İTÜMÇS yüzeylerinden yansıyan güneş ışınım şiddetleri, İTÜBÇS ve İTÜMÇS yüzey sıcaklıkları, İTÜBÇS'de buhar kesici-ısı yalıtımı arası, ısı yalıtımı-su yalıtımı arasındaki, toprak altındaki sıcaklıklar ile İTÜMÇS'de ısı yalıtımı-su yalıtımı arasındaki sıcaklık ölçüm değerleri bir "veri kayıt aleti" ile kayıt edilmekte ve depolanmaktadır. Düşey yağmur miktarı ise "Yağış Ölçer Veri Kayıt Aleti" ile kayıt edilmekte ve depolanmaktadır. 15 dk'lık ölçüm verileri, veri kayıt aletlerinden bir bilgisayara, ilgili iki adet yazılım ile indirilmekte ve bilgisayarda okunabilmektedir. Veriler, yazılımlardan MS Excel programına veri analizi için aktarılmaktadır.

Deney Sonuçları - Veri Analizi

İTÜBÇS ile İTÜMÇS'de Mart, Nisan ve Mayıs 2010 tarihlerinde (ilkbahar mevsimi) elde edilen ölçümler, İTÜBÇS ile İTÜMÇS yansıyan güneş ışınımı şiddeti ve yansım oranı, İTÜBÇS ile İTÜMÇS yüzey sıcaklıkları,

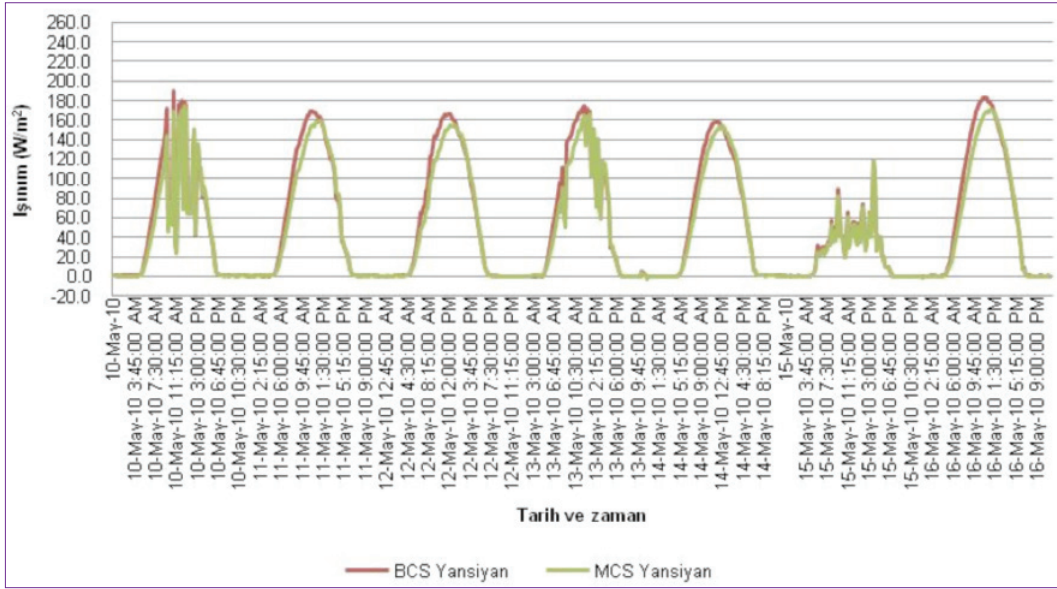
İTÜBÇS ısı kütle etkisi ve İTÜBÇS ile İTÜMÇS sıcaklık profilleri olarak analiz edilerek değerlendirilmiştir.

İlkbahar ve yaz aylarında, kent ısı adası etkisini azaltmak için bir yüzeyin gündüz düşük yansım oranı ve gece düşük yayılım özelliklerine sahip olması istenmektedir.⁹ Bitkiler ile kaplanmış yüzeylerde, gündüz, bitkiler yapraklarında gelen güneş ışınımını fizyolojik süreçler sonucunda tüketerek yansıyan güneş ışınım şiddetini azaltırlar. Bitkiler, yaprakların gölgeleme etkisi nedeniyle toprak yüzeyin emdiği ısı enerji miktarını azaltırlar, bu nedenle gece toprak yüzeyinden dış ortama yayılım azalır.¹⁰ Kısaca, bitki kaplı yüzeylerin gündüz düşük yansım oranı ve gece düşük yayılım özelliklerine sahip olması beklenmektedir. Bu performansın incelenmesi için, ölçüm düzeneğinde toplam gelen güneş ışınım şiddeti ile İTÜBÇS ve İTÜMÇS yüzeylerinden yansıyan güneş ışınım şiddeti değerleri bir gün için ilkbahar aylarında güneş ışınımının en yüksek olduğu kabul edilen saat 10:00 ile 14:00 arasında ölçülmüş,¹¹ İTÜBÇS ve İTÜMÇS yansım oranı değerleri hesaplanmış ve bu değerler ilkbahar mevsimi için karşılaştırılabilir olarak değerlendirilmiştir. İlkbaharı temsil eden günlerde, toplam gelen güneş ışınım şiddeti, 800-1100 W/m² değerleri arasında değişmiştir. Genel olarak İTÜBÇS ve İTÜMÇS yüzeylerinden yansıyan güneş ışınım şiddetleri yaklaşık olarak aynı değerlerdedir (Şekil 3), 10-16 Mayıs 2010 tarihlerinde gelen güneş ışınım şiddeti

⁹ Gaffin, 2005.

¹⁰ Tan, 2003.

¹¹ ASTM E 1918, 2006.



Şekil 4. 10-16 Mayıs 2010 tarihlerinde bitkilendirilmiş test çatı sistemi ve mevcut test çatı sisteminde yansıyan güneş ışınım şiddeti.

tini ve Şekil 4'de verilen tarihlerde İTÜBÇS ve İTÜMÇS yüzeylerinden yansıyan güneş ışınım şiddetlerini bir örnek olarak vermektedir. İlkbahar'da İTÜBÇS yansım oranı değerlerinin aritmetik ortalaması 0.11-0.20 arasında, İTÜMÇS yansım oranı değerlerinin aritmetik ortalaması ise 0.10-0.19 arasında değişmiştir. Bu mevsimde, İTÜBÇS'de bitkiler toprak yüzeyini kısmen kaplamıştır. İTÜBÇS'den yansıyan güneş ışınım şiddeti ve dolayısıyla yansım oranı, bitki ve toprak yüzeyinden yansıyan güneş ışınım şiddeti ve yansım oranıdır.

Bir çatı yüzeyine gelen güneş ışınımının bir miktarı, yüzey özelliklerine bağlı olarak, dış ortama yansır, geri kalan miktarı ise soğurulur. Böylece yüzey sıcaklığı artar; malzemede soğurulan enerji atmosfere (veya daha düşük sıcaklıktaki bir ortama) tekrar ısı enerjisi olarak ışınır. Ayrıca, soğurulan ısı enerjisi, çatı sisteminin bünyesinden iç ortama doğru geçen ısı akış miktarını artırır; böylece yaz aylarında soğutma ihtiyacı dolayısıyla soğutma amaçlı elektrik enerjisi tüketimi de artar.¹² Bitkiler ile kaplanmış yüzeylerde, gündüz, bitkiler yapraklarında gelen güneş ışınımını fizyolojik süreçler sonucunda tüketerek toprak yüzeyine gelen güneş ışınım şiddetini azaltır. Bitkiler, yaprakların gölgeleme etkisi nedeniyle toprak yüzeyin emdiği ısı enerjisi miktarını azaltır, böylece toprak yüzey sıcaklığı azalarak, iç ortama geçen ısı akış miktarı azalır.^{13,14} Bu performansın

incelenmesi için, İTÜBÇS ve İTÜMÇS yüzey sıcaklık değerleri ölçülmüş, bu değerler ilkbahar mevsimi için karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

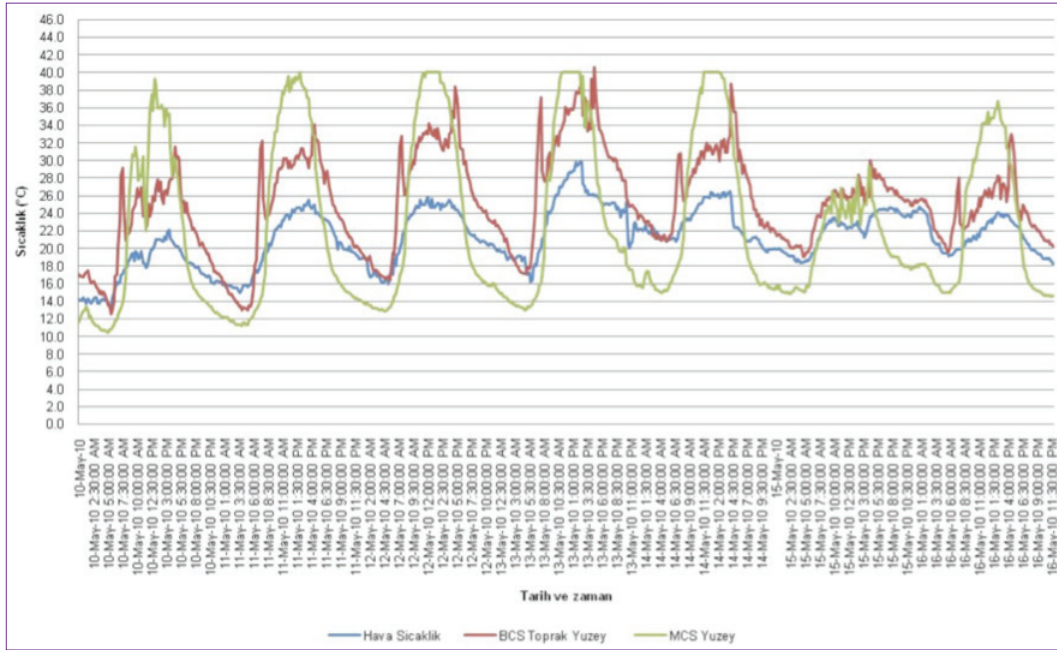
Genel olarak, gündüz saatlerinde İTÜMÇS yüzey sıcaklık değerleri, gelen toplam güneş ışınım şiddeti değerleri ile benzer davranış göstermiştir. Gündüz, öğle saatlerinde, İTÜMÇS yüzeyine gelen güneş ışınımının %10-%19'u, dış ortama yansımakta, geri kalan miktarı ise soğurulmakta, böylece yüzey sıcaklığı artmakta ve yüzey sıcaklığı hava sıcaklığından da yüksek olmaktadır. Bazı günlerde, gece saatlerinde, İTÜMÇS yüzey sıcaklık değerleri, hava sıcaklık değerlerinden daha düşük değerlerde olmaktadır. Bulutsuz gecelerde, İTÜMÇS yüzey sıcaklık değerlerinin, yüzeyin ısı enerjisi yayınımlı ve/veya yüzeyde rüzgarın ısı kayıplarını arttırması nedeniyle hava sıcaklık değerinin altına düşmekte olduğu düşünülmektedir, (ölçüm düzeneğinde yayınım ve bulutluluk oranı ölçülmemektedir). Gündüz, öğle saatlerinde İTÜBÇS toprak yüzey sıcaklık değerleri, İTÜMÇS yüzey sıcaklık değerlerinden daha düşük olmuştur. Şekil 5, 10-16.05.2010 tarihlerinde hava sıcaklık, İTÜBÇS ve İTÜMÇS yüzey sıcaklık değerlerini bir örnek olarak vermektedir. 12 Mayıs 2010 tarihinde saat 12:00'de gelen toplam güneş ışınım şiddeti değeri 892.5 W/m² ve hava sıcaklık değeri 25.8°C iken İTÜMÇS ve İTÜBÇS yüzey sıcaklık değeri, sırasıyla, 40.0°C ve 33.0°C olmuştur. 12 Mayıs 2010 tarihinde saat 23:15'de hava sıcaklık değeri 20.5°C iken İTÜMÇS ve İTÜBÇS yüzey sıcaklık değeri, sırasıyla, 16.0°C ve 22.9°C olmuştur.

Bitkilendirilmiş çatı sistemlerinde, toprağın - özel-

¹² Lui, 2005.

¹³ Niachou, 2001.

¹⁴ Wong, 2003.



Şekil 5. 10-16.05.2010 tarihlerinde hava sıcaklık, bitkilendirilmiş test çatı sistemi ve mevcut test çatı sistemi sıcaklık değerleri.

likle nemli durumda yüksek miktarda ısı enerjisini sıcaklığı çok artmadan depolaması ve dış ortam sıcaklığı azaldığında dış ortama sıcaklığı çok azalmadan yavaşça vermesi - ısı kütlesi özelliği ile özellikle ilkbahar ve yaz aylarında yüksek hava sıcaklık değerlerinde iç ortam sıcaklık değerlerini dengelediği bilinmektedir.¹⁵ Bu nedenle İTÜBÇS toprak altı sıcaklık değerleri ile İTÜMÇS ısı yalıtım üst yüzey sıcaklık değerleri ölçülmüş ve karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Genel olarak, hava sıcaklık değerleri gündüz öğle saatlerinde yüksek değere, gece ise düşük değerlere ulaşmaktadır. İTÜBÇS'de toprak altı sıcaklık değerleri bir gün içerisinde sabah saatlerinden aynı gün akşamüstüne kadar yavaşça artmakta (ısı enerjisini sıcaklığı çok artmadan depolamakta) ve en yüksek değere ulaşmakta, aynı gün akşamüstü saatlerinden ertesi gün sabah saatlerine kadar azalmakta (toprak altında 9 cm kalınlığında ısı yalıtımı olduğundan akşam vakti hava sıcaklık değeri azalınca depolanan ısı enerjisini dış ortama sıcaklığı çok azalmadan yavaşça vermekte) ve bu saatlerde en düşük değere ulaşmaktadır. Genel olarak, bir gün içerisinde, hava sıcaklık değerleri ile İTÜBÇS toprak altı sıcaklık değerleri en yüksek ve en düşük değerleri arasında zaman farkı oluşmaktadır.

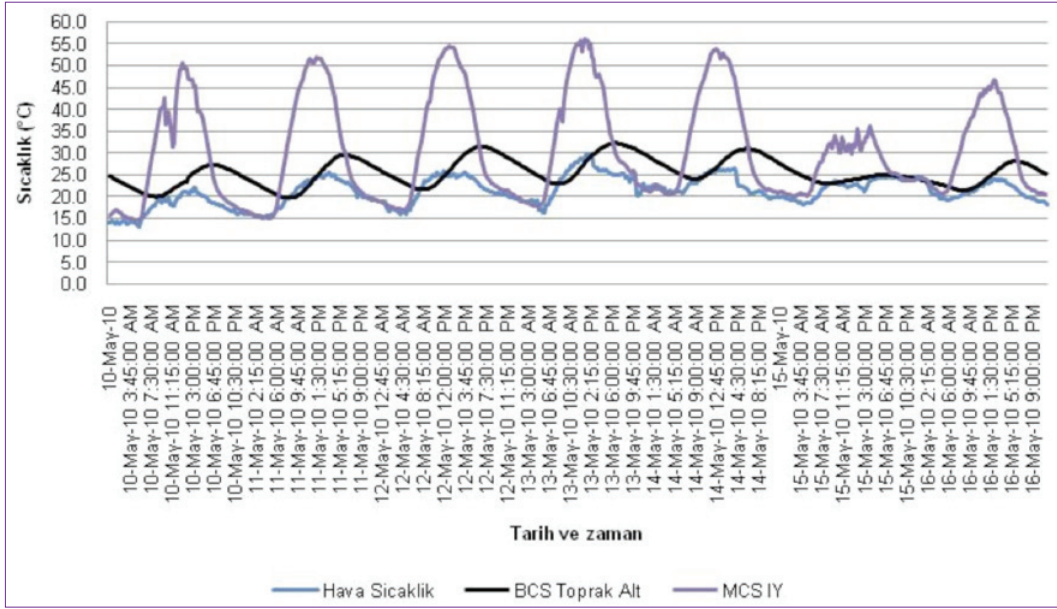
İTÜMÇS ısı yalıtım üst yüzey sıcaklık değerleri ile

İTÜBÇS toprak altı sıcaklık değerleri en yüksek ve en düşük değerleri arasında da zaman farkı oluşmaktadır. Genel olarak öğle saatinde İTÜBÇS toprak altı sıcaklık değerleri ile İTÜMÇS ısı yalıtım üst yüzey sıcaklık değerleri arasında fark bulunmakta, İTÜMÇS ısı yalıtım üst yüzey sıcaklık değerleri daha yüksek değerde olmaktadır. İlkbahar mevsiminde bu fark en yüksek değere yaklaşık 12°C olmuştur. Şekil 6, 10-16.05.2010 tarihlerinde hava sıcaklık değerleri ve ısı kütlesi etkisine bir örnek vermektedir. 12 Mayıs 2010 tarihinde İTÜMÇS ısı yalıtım üst yüzey sıcaklık değerleri sabah saat 04:00'de 17.1°C (en düşük değer) ve öğle 12:00'de 53.3°C (en yüksek değer) iken İTÜBÇS toprak altı sıcaklık değeri sabah saat 08:00'da 21.6°C (en düşük değer) ve 18:00'de 31.3°C (en yüksek değer) olmuştur.

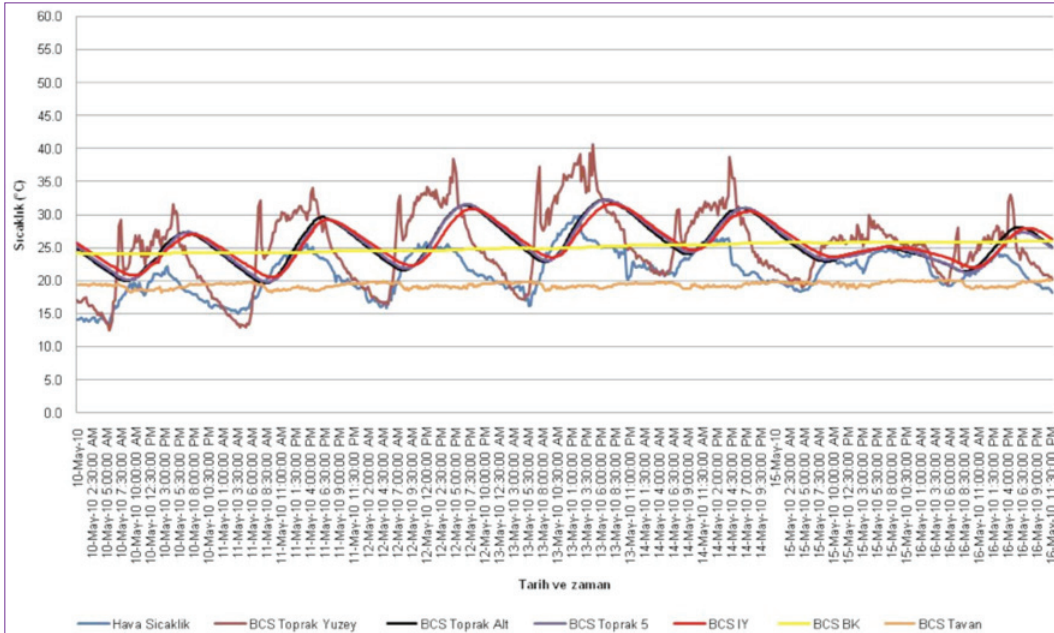
İlkbahar mevsimini temsil eden 10-16 Mayıs 2010 tarihleri için, hava sıcaklık değerleri ve İTÜBÇS sıcaklık profili Şekil 7'de verilmiştir. Verilen tarihler arasında en düşük ve en yüksek hava sıcaklık değerleri, sırasıyla, 13.2°C ile 29.9°C iken toprak yüzey sıcaklık değerleri 12.5°C ile 40.6°C, 5 cm toprak sıcaklık değerleri 19.8°C ile 32.3°C, toprak altı sıcaklık değerleri 19.7°C ile 32.2°C, ısı yalıtım üstü sıcaklık değerleri 20.6°C ile 31.6°C arasında değişirken, buhar kesici üstü sıcaklık değerleri 24.1°C'dan 26.0°C ve tavan sıcaklık değerleri 18.2°C ile 20.2°C arasında değişmiştir.

Genel olarak, hava sıcaklık değerleri gündüz öğle saatlerinde yüksek değere, gece ise düşük değerle-

¹⁵ Castleton, basımda...



Şekil 6. 10-16.05.2010 tarihlerinde hava sıcaklık değerleri ve ısıl kütle.

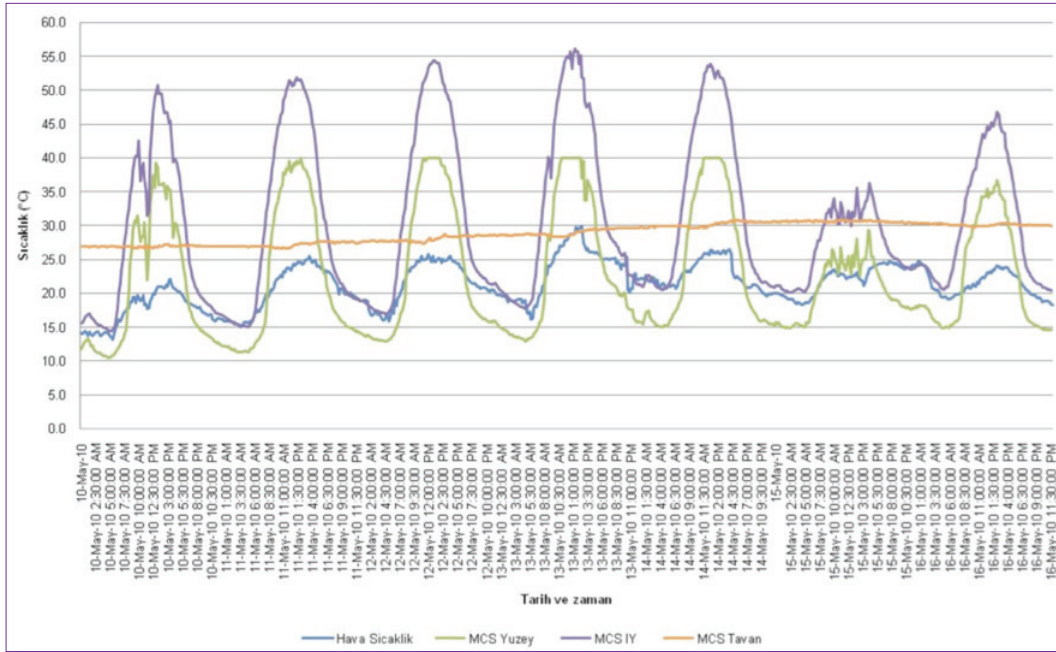


Şekil 7. 10-16.05.2010 tarihlerinde hava sıcaklık değerleri ve bitkilendirilmiş test çatı sistemi sıcaklık profili.

re ulaşmaktadır. İTÜBÇS'de toprak altı sıcaklık değerleri bir gün içerisinde, genel olarak, saat 08:00 civarından aynı gün saat 18:00 civarına kadar artmakta, bu saatte en yüksek değere ulaşmakta, aynı gün saat 18:00 civarından ertesi gün saat 08:00 civarına kadar azalmakta ve bu saatte en düşük değere ulaşmaktadır. Genel olarak, bir gün içerisinde, hava sıcaklık değerleri ile İTÜBÇS toprak altı sıcaklık değerleri en yüksek ve en düşük değerleri arasında zaman faz farkı oluşmaktadır. İTÜBÇS'de ısı yalıtım üstü sıcaklık değerleri ise belirli

bir zaman faz farkı ile toprak altı sıcaklık değerleri ile benzer davranışı göstermektedir. İTÜBÇS'de 5 cm derinliğindeki toprak sıcaklık değerleri toprak altı sıcaklık değerleri ile aynı olmaktadır. İTÜBÇS'de buhar kesici üstü sıcaklık değerleri ve tavan sıcaklık değerleri yaklaşık sabit kalmıştır.

Verilen tarihler için, hava sıcaklık değerleri ve İTÜMÇS sıcaklık profili Şekil 8'de verilmiştir. Bu tarihler arasında en düşük ve en yüksek hava sıcaklık değerle-



Şekil 8. 10-16.05.2010 tarihlerinde hava sıcaklık değerleri ve mevcut test çatı sistemi sıcaklık profili.

ri, sırasıyla, 13.2°C ile 29.9°C iken yüzey sıcaklık değerleri 10.4°C ile 40.0°C, ısı yalıtım yüzey sıcaklık değerleri 14.4°C ile 56.1°C ve tavan sıcaklık değerleri 26.6°C ile 30.8°C arasında değişmiştir. Gündüz saatlerinde İTÜMÇS yüzey sıcaklık değerleri, toplam gelen güneş ışınım şiddeti değerleri ile aynı davranışı göstermektedir. Gündüz, öğle saatlerinde, İTÜMÇS yüzey sıcaklık değerleri, hava sıcaklık değerlerinden daha yüksek değerlere ulaşmaktadır. Gündüz saatlerinde, İTÜMÇS yüzey sıcaklık değerleri, güneş ışınım şiddeti nedeniyle artmakta ve güneş ışınım şiddeti değerinin en yüksek olduğu öğle saatlerinde en yüksek değerlere ulaşmaktadır. İTÜMÇS ısı yalıtım üst yüzey sıcaklık değerleri ise İTÜMÇS yüzey sıcaklık değerlerinden de daha yüksek değerlere ulaşmaktadır. Örneğin, 12 Mayıs 2010 tarihinde saat 12:00'de toplam gelen güneş ışınım şiddeti değeri 892.5 W/m² (Şekil 3) ve İTÜMÇS yüzey sıcaklık değeri 40.0°C iken ısı yalıtım üst yüzey sıcaklık değeri 53.3°C'a ulaşmıştır (Şekil 8). Gece saatlerinde, İTÜMÇS yüzey sıcaklık değerleri, İTÜMÇS ısı yalıtım üst yüzey sıcaklık değerlerinden daha düşük değerlerde olmuştur.

Sonuçlar

BÇS'nin, ülkemiz yerel şartlarında gösterdikleri performans ile ilgili sınırlı miktarda bilgi üretilmiştir. Bu nedenle İTÜ'de yürütülen bir araştırma projesi kapsamında İstanbul gerçek hizmet şartlarında mevcut bir çatı sisteminin BÇS ile iyileştirilmesi sonucunda oluşan sistem ile mevcut çatı sisteminin ısı ve nem ile ilgili performanslarını alanda ölçüm yöntemiyle deneysel ola-

rak ortaya koyacak ve söz konusu performansları karşılaştırmalı olarak değerlendirecek deneysel bir çalışma yürütülmektedir. Çalışmanın ilk sonuçlarına göre ilkbahar mevsiminde yüzeyi henüz bitki ile tam örtülmemiş İTÜBÇS ile İTÜMÇS'nin güneş ışınım yansıtma oranı yaklaşık olarak aynı olmuştur. Gündüz, öğle saatlerinde İTÜBÇS toprak yüzey sıcaklık değerleri, İTÜMÇS yüzey sıcaklık değerlerinden daha düşük olmuştur. İTÜBÇS ısı kütle etkisi ile yüksek hava sıcaklık değerlerinde iç ortam sıcaklık değerlerini dengelemiştir. Her iki çatı sisteminin yaz, sonbahar ve kış mevsimleri için de performans değerlendirilmesi, gerekli ölçüm verileri elde edildikten sonra yapılacaktır.

Teşekkür

İTÜ'de yürütülen araştırma projesi, TÜBİTAK Mühendislik Araştırma Grubu, İTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi-BİMTAŞ tarafından desteklenmektedir. Yazarlar yukarıda adı geçen kurumlara projeye sağladıkları destekler için teşekkür ederler.

Kaynaklar

1. Karaca, M., Antepioğlu, Ü., Karsan, H., (1995), "Detection of urban heat island in İstanbul" Il Nuovo Cimento, Cilt 18, Sayı 1; s. 49-55.
2. First National Communication on Climate Change, (2007), The Ministry of Environment and Forestry. www.cevreorman.gov.tr, (Erişim tarihi: 15 Mart 2007).
3. Kavak, K., (2005), Dünyada ve Türkiye'de Enerji Verimliliği ve Türk Sanayiinde Enerji Verimliliğinin İncelenmesi

- Uzmanlık Tezi, Yayın No: DPT: 2689, Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.
4. Bass, B., Krayenhoff, EF., Martilli, A., Stull, RB., Auld, H. (2002), "Modelling the impact of green roof infrastructure on the urban heat island in Toronto" Green Roofs Infrastructure Monitor Cilt 4, Sayı 1, 2002.
 5. Hien, W.N., Yok, T.P., Yu, C., (2007), "Study of thermal performance of extensive rooftop greenery systems in the tropical climate" Building and Environment, Sayı 42, s. 25-54.
 6. Eumorfopoulou, E., Aravantinos, A., (1998), "The contribution of a planted roof to the thermal protection of buildings in Greece" Energy and Buildings, Sayı 27, s. 29-36.
 7. Wong, NH, Cheong, DKW, Yan, H, Soh, J, Ong, CL, Sia, A, (2003), "The effects of rooftop garden on energy consumption of a commercial building in Singapore" Energy and Buildings Sayı 35, s. 353-64.
 8. Baştañođlu, A., Çolakođlu, K., Selçuk, CT., Bonfil, J., (2006), "Eđimli çatılarda nihai çatı kaplama malzemeleri 2005 yılı sektör büyüklüğü araştırması" 3. Ulusal Çatı & Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Dođa Yayıncılık Ltd. Şti., İstanbul: s. 39-44.
 9. Gaffin, F., (2005), "Energy balance modelling applied to a comparison of white and green roof cooling efficiency" Proceedings for Greening Rooftops for Sustainable Communities. United States.
 10. Tan, PY, Wong, NH, Chen, Y, Ong, CL, Sia, A, (2003), "Thermal benefits of rooftop gardens in Singapore". Proceedings for Greening Rooftops for Sustainable Communities. United States.
 11. ASTM Standard E 1918, (2006), "Standard test method for measuring solar reflectance of horizontal and low-sloped surfaces in the field". ASTM International, West Conshohocken, PA 2006, United States.
 12. Lui, K, (2005), "Performance evaluation of an extensive green roof" Proceedings for Greening Rooftops for Sustainable Communities. United States.
 13. Niachou, A, Papakonstantinou, K, Santamouris, M, Tsan-grassoulis, A, Mihalakakou, G, (2001), Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance energy and buildings. Sayı 33, s.719.
 14. Wong, NH, Chen, Y, Ong, CL, Sia, A, (2003), "Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment" Building and Environment, Sayı 38, s. 261.
 15. Castleton, HF, Stovin, V, Beck, SBM, Davison, JB. "Green roofs, building energy savings and the potential for retrofit". Article in Press. Building and Environment.