

Yeşil Çatı Sistemlerinin Çatılardaki Sıcaklık Düşümüne Etkisinin Yapay Sinir Ağları ile İncelenmesi – Şanlıurfa Örneği

¹Tahir AYATA*, ²Doğan ERDEMİR

^{1,*}Erciyes Üniversitesi, KMY, 38039 KAYSERİ

²Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 38039 KAYSERİ

Özet

Yeşil çatı sistemleri yavaş yavaş Türkiye’de de ticari olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu sebeple yeşil çatının yurdumuz atmosfer şartlarına göre performansının değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Gün boyu yüksek sıcaklıkların yaşandığı bölgelerde, bina üzerinde büyük sıcaklık alanları oluşmaktadır. Bina çatısında oluşan ısı kazançlarının önüne yeşil çatı sistemleriyle geçilebilir. Bu sayede, binanın konfor şartlarının sağlanması için daha az enerji harcanabilir. Bu çalışmada Şanlıurfa örneğinde yeşil çatının, çatı üzerindeki sıcaklık düşümüne etkisi Yapay Sinir Ağları metodu kullanılarak incelenmiştir. Bunun için, dünyadaki değişik iklim bölgelerindeki şehirlere ait iklim verileri ve yeşil çatı kullanımında çatı üzerindeki sıcaklık düşüm değerleri kullanılmıştır. Yapay Sinir Ağları yönteminde, %4,01 RMSE ve % 96,35 R² değerleri ile tatmin edici sonuçlara verir. Sonuçta, Şanlıurfa iklim verileri için değerlendirme yapılmış ve Şanlıurfa için çatı üzerindeki sıcaklık düşüm değerleri elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler : Yeşil Çatı, Yapay Sinir Ağları, Konfor Şartları, Isı Adacığ Etkisi, Şanlıurfa

Effect of Green Roof Systems on the Temperature Decrease of Roofs with Artificial Neural Networks – Şanlıurfa Example

Abstract

Recently, green roof systems have been commercially used in Turkey. For this reason, it is important to evaluate the performance of the green roof according to our country’s atmospheric conditions. High temperature areas appear on roofs at regions where high temperatures are experienced during the day. Heat gain on the roof of the building can be avoided with green roof systems. In this way, the building would spend less energy to ensure comfort conditions. In this study, effect of green roofs on the temperature drop on the roof was investigated by using Artificial Neural Networks for Şanlıurfa example. For this, climate datas of cities in different climatic zones in the world and temperature drop values on the green roofs were used. Artificial Neural Networks gave satisfactory results with RMSE of 4.01% and successful R² of 96.35%. Finally, climatic data have been analyzed and the temperature gradient values were obtained on the roof for Şanlıurfa.

Keywords : Green Roof, Artificial Neural Networks, Confort Condition, Heat Island Effect, Şanlıurfa

1. Giriş

Yeşil çatı sistemlerinin Türkiye’de de yavaş yavaş kullanıma girdiği ve ticari olarak uygulamaya başlandığı da düşünülerek yeşil çatının yurdumuz iklim şartlarına göre performansının değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Şanlıurfa yöresi örneğinde olduğu gibi gün boyu yüksek sıcaklıkların yaşandığı bölgelerde, bina üzerinde büyük sıcaklık alanları oluşmaktadır. Bina çatısında oluşan ısı kazançlarının sonucu oluşan yüksek sıcaklık etkisinin önüne yeşil çatı sistemleriyle geçilebilmektedir (eftekhari). Bu sayede binanın konfor şartlarına yaklaştırılması veya konfor şartlarının korunması kolaylaştırılabilir.

Yaz aylarında, bina üzerinde büyük sıcaklık alanları ortaya çıkmaktadır. Buna bağlı olarak da bina dış cephesinden ve bina çatısından büyük ısı kazançları oluşmaktadır. Bilhassa şehir çevresinde oluşan yüksek sıcaklıklı ısı adacıklarının etkisi (heat island effect) ile şehir içerisindeki yapılarda bu ısı kazancı daha yoğun yaşanmakta ve bu durum yapıların konfor şartlarına getirilmesi için kırsal alanlardaki konutlara göre daha yüksek bir mali bütçe gerektirmektedir. Bina çatısına kurulacak yeşil çatı sistemiyle bu izolasyon etkisinin artırılması ve hatta binadan da bu sistem sayesinde ısı çekilerek binanın konfor şartlarına getirilmesi veya konfor şartlarının korunması mümkündür. Yapılan birçok çalışmada bu durum incelenmiş ve bu etki gözlemlenmiştir.

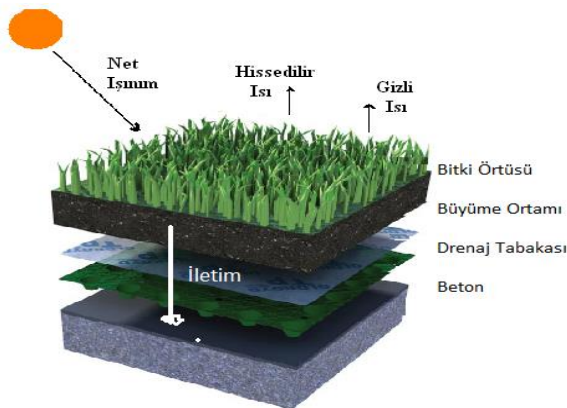
Yeşil çatı sistemi geçmişten günümüze klasik kırsal alan yapılarında doğal bir şekilde olagelmıştır. Bu durum bazen istenilen bazen istenilmeyen çoğu zaman da yaşanan alanın iklim özelliklerine bağlı olarak kaçınılmaz bir durum olarak ortaya çıkmıştır (Şekil 1) [1]. Bugün gelinen son durumda şehirlerin üzerinde büyük ısı alanı etkilerinin azaltılmasından başlayan ani yağışların olumsuz etkilerinin azaltılması ve peyzaj mimaride yeşil alan düzenlemesine kadar giden yeşil çatı sistemleri dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır Ancak evlerin konfor şartlarının iyileştirilmesinde yeşil çatı sistemlerinin ısı etkilerinden faydalanılmasına ve iklimlendirme özeliği olarak kullanılmaya da başlanmıştır. Dünyada bu konudaki araştırmalarla birlikte uygulamalar hızla artmaktadır. Avrupadan sonra Amerika da bu çalışmalara kaynak ayırmaya başlamıştır [2]. Türkiye’de de uygun iklim bölgelerinde ticari olarak uygulama alanı bulmaktadır (Şekil 2) [3].



Şekil 1. Norveç’de geleneksel yeşil çatılı evler [1].



Şekil 2. Yeşil Çatı Türkiye uygulaması (Yalova) [3]



Şekil 3. Tipik bir yeşil çatı sisteminin şematik gösterimi ve bitki tabakası üzerindeki enerji dengesi [4]

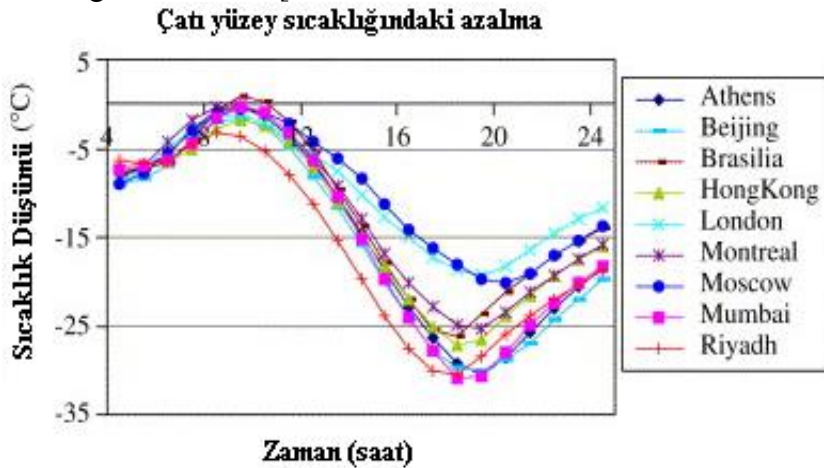


Şekil 4. Sedum spurium, Erzurum yöresi [5]

Şekil 3’de de görüldüğü gibi deney düzenegi düzlem bir toprak yüzeydir. Bu toprak

yüzeyin üzeri bir bitki tabakası ile kaplıdır. Bitki tabakası için değişik bitkiler kullanılabilir. Bir çok uygulamada kullanılan bitki örtüsü tipi “Sedum Spurium”dur [5]. Bu bitki oldukça dayanıklıdır, uzun süre su ve toprak olmaksızın canlı kalabilirler. Bu bitkinin ülkemizde bir çok yörede ve değişik iklim koşullarında farklı türleri yetişmektedir ve “dam kuruğu” ismi ile bilinmektedir. Şekil 4.’de Erzurum yöresinde yetişen Sedum Spurium’un resmi görülmektedir [5].

Yapılan bir çok çalışmada standart beton çatılar ile yeşil çatı sistemleri sıcaklık ve ısı kayıp ve kazançları açısından karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar coğrafi bölgelere ve iklim şartlarına göre farklı sonuçlar vermektedir. Cardiff Üniversitesi’nde yaz aylarında, standart bir yeşil çatı sisteminin ısı modellemesi yapılarak hem deneysel hem de teorik model üzerinden sıcaklık analizleri yapılmıştır [6]. Bu çalışmada beton çatı üzerinde gece ile gündüz arasında 25°C’ye varan sıcaklık oynamaları varken, yeşil çatı üzerinde bu farklılık 13°C’ye kadar düşmektedir. Böylece bina çatısı gün boyu büyük sıcaklık değişimlerinden etkilenmediği gibi ortalama olarak çatıdaki ısı yük değeri de düşmektedir. Yine Penn State Üniversitesi’nde 2003 Temmuz ayında deneysel sistemden yapılan ölçümlerde standart bir çatı ile yeşil çatı arasındaki ortalama sıcaklık değişimi üç haftalık aralıkta gözlemlenmiştir [7]. Bir diğer önemli faktör de değişik iklim şartlarında yeşil çatı sistemlerinin nasıl sonuç verdiği. Şekil 5’de değişik coğrafi ve iklim bölgelerindeki şehirlerde yapılan çalışmalarda elde edilen, çatı yüzeyi üzerindeki hava sıcaklığına yeşil çatının etkisi görülmektedir. Bu etki bütün iklim şartlarında sıcaklıkta azalma olarak belirgin bir şekilde görülmektedir [8].



Şekil. 4 Yeşil çatı sistemlerinin çatı yüzeyi üzerindeki hava sıcaklık düşümlerine etkisi [8]

Bilindiği gibi yaz aylarında çatılardan ısı kazancının olmaması, kış aylarında ise ısı kaybının olmaması istenen bir durumdur. 2006 yılında Iowa Üniversitesinde, yeşil çatı sistemlerinin ısı kayıp ve kazançlarına etkisi deneysel olarak incelenmiştir [9]. Yaz aylarında ısı kazancında %40’lık azalmalar görülürken, kış aylarında ısı kaybı yerine ısı kazancının olduğu bir durum ortaya çıkmaktadır. Böylece yeşil çatılar iklim şartlarına göre her mevsimde pozitif özellikleriyle öne çıkmaktadır.

Bu çalışmada Şanlıurfa bölgesinin iklim verilerinin matematik modellenmesi Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanılarak yapılmıştır. Modelleme için gerekli öğrenme verileri Alexandri ve Jones’ın yapmış olduğu çalışmadan alınmıştır [8]. Bu çalışmada dünya ölçeğinde değişik iklim bölgelerinden 9 şehrin yaz ayları için iklimsel verileri kullanılmıştır. Bu dokuz dünya şehrinin iklimsel verilerinin yeşil çatı üzerinde sıcaklık düşümüne etkisi YSA modeli kullanılarak Şanlıurfa örneği için kıyas unsuru olarak değerlendirilmiştir. Yapılan bu çalışma ile sadece Şanlıurfa örneği için değil hem Türkiye

hem de dünyanın diğer şehirlerinin meteorolojik verilerinin bilinmesiyle yeşil çatının çatıdaki sıcaklık düşümüne etkisi tahmin edilebilecektir.

2. Hissedilir Isı Akısı Hesaplamaları

Hissedilir ısı akısının hesaplanması, enerji dengesi eşitliğinin verimli olarak kullanılabilmesi için önemlidir. Birçok çalışmada dikdörtgen bir levha üzerinden olan hava akımının sebep olduğu hissedilir ısı akısı için eşitlikler geliştirilmiştir [10,11,12,13]. Fakat bu eşitlikler geometrik farklılıklardan dolayı diğer sistemlere uygulanamaz. Böylece, bir çok çalışmada bitki örtüsünden olan hissedilir ısı akısının hesaplanması için uygun bir eşitlik de araştırılmıştır. Hissedilir ısı akısı hesaplaması için literatürde temel metotlar bulunabilir. Bu hesaplama metotlarının kısa açıklamaları aşağıda verilmiştir. Isı taşınımının hesaplamasında kullanılan eşitlikleri yeşil çatı hissedilir ısı akısı hesaplamalarında kullanabilmek için bazı modifikasyonlar yapmak gerekir.

Belirli bir bölge için yeşil çatı sistemlerinin uygunluğunun incelenmesi hem bir kaç yıllık süreyi hemde yüksek harcamalar gerektiren açık alan deneysel çalışmalarını gerektirmektedir. Bunun yanında yapılan deneysel çalışmalara bağlı olarak geliştirilen eşitlikler yardımıyla hesaplamalar yapılabilmektedir. Ancak bunlar da aşağıda da izah edileceği gibi birçok parametreye bağlıdır ve hesaplamalarda güçlüğü içerisinde barındırır. Birçok araştırmacı Şekil 3’de modeli verilen yeşil çatı sistemi için Eşitlik-1’de verilen zamandan bağımsız enerji dengesi yaklaşımını yeşil çatılardan ısı akısının modellenmesi için tavsiye etmektedir [14,15,16].

$$R_n - G - L - H = 0 \quad [1]$$

Burada R_n bitki örtüsü üzerindeki net ışınımı [W/m^2], H hissedilir ısı akısını [W/m^2], G toprak içerisindeki ısı iletimini [W/m^2], ve L (λET) gizli ısı akısını [W/m^2] ifade etmektedir [17]. Net ışınım R_n ve toprak içerisindeki ısı akısı G , deneysel düzenden ölçülebilir. Bununla birlikte, hissedilir ısı akısının H , hesaplanması oldukça karışıktır ve kolaylıkla elde edilemez. Hissedilir ısı akısının hesaplanması için bitki örtüsünün ve havanın sıcaklığının hassas bir şekilde deney düzeneğinde ölçülmesi gerekir.

Verilen şartlar altında, (rüzgar hızı, hava basıncı ve sıcaklığı vs.) bitki örtüsünden havaya olan ısı akısı, bitki alanı ve sıcaklık farkı kullanılarak hesaplanır. Eğer ısı taşınım katsayısı h [W/m^2] verilen yüzey için biliniyorsa, hissedilir ısı akısı, H , aşağıdaki şekilde verilir [18,19];

$$H = h(T_l - T_a) \quad [2]$$

Bu bölümde temel hesaplama yönteminin eşliğinde bir bitki örtüsünden olan hissedilir ısı akısının hesaplanması için önerilen eşitliklerden bazıları verilmiştir. Eğer bir yüzey üzerinde değişik seviyelerde rüzgar hızı ve sıcaklıkları gözleniyorsa, böyle bir durum için Monteith tarafından hissedilir ısı akısının hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik önerilmektedir [20].

$$H = \frac{\rho \cdot Cp(T_s - T_a)}{r_a} \quad [3]$$

Burada T_s bitki örtüsü yüzey sıcaklığını T_a yüzey üzerindeki hava sıcaklığını, ρCp hacimsel ısı kapasitesini ($Jm^{-3} K^{-1}$) ve r_a ise havanın ısı transferine gösterdiği direnci (sm^{-1}) ifade etmektedir.

Zorlanmış taşınımın doğal taşınımına göre daha öne çıktığı durumlarda eğer bitki örtüsü yüksekliği göreceli olarak küçük ise ampirik eşitlik McAdams tarafından şu şekilde verilir ve bu eşitlik geniş bitki örtüsü yüzeyleri için kullanılabilir [21].

$$h = 5.9 + 4.1 u \frac{511 + 294}{511 + T_a} \quad [4]$$

burada u rüzgar hızı ve T_a [K] ise hava sıcaklığıdır. Bu eşitlikte bitkinin her iki yüzünün de aynı özelliklerde olduğu kabul edilmiştir. Dolayısıyla her iki yüzey için de aynı sıcaklık ve ısı taşınım katsayılarını almak uygun olacaktır. Böylece h ısı taşınım katsayısı iki ile çarpılarak kullanılır.

$$H = 2h(T_l - T_a) \quad [5]$$

T_a ölçme yüksekliğindeki hava sıcaklığı ve T_l bitki sıcaklığını verir [22].

Ayata ve arkadaşları yaptıkları çalışmada iklim şartlarına, topraktaki hacimsel su oranına ve rüzgar hızına bağlı olarak deneysel bir hesaplama yöntemi geliştirmişlerdir. Eşitlik 6.a ve 6.b ısı taşınım katsayısının yanında bitki örtüsü kaplama oranlarını içinde barındıran hem doğal hem de zorlanmış taşınım için ayrı ayrı geliştirilmiştir [4]

$$H_{est} = \sigma \cdot LAI \cdot h \left(\frac{e^u}{(11 \cdot U \cdot VWC)^2} \right) (T_f - T_a)^n, \quad n = 0 \text{ veya } 1 \text{ (zorlanmış taşınım)} \quad [6.a]$$

$$H_{est} = \sigma \cdot LAI \cdot h \left(\frac{VWC}{U} e^{3VWC} \right) (T_f - T_a) \quad n = 0 \text{ veya } 1 \text{ (doğal taşınım)} \quad [6.b]$$

Bazı araştırmacılar bitki örtüsü kaplı yüzeyi pürüzlü yüzey kabul ederek veya yeni bir karakteristik uzunluk tanımlayarak hissedilir ısı akısını hesaplama yoluna gitmişlerdir. Pürüzlü yüzey kabulü veya karakteristik uzunluk tanımlaması gerçek ısı taşınım alanıyla bitki örtüsü kaplı alan arasındaki farktan kaynaklanmaktadır. Bitki örtüsüyle ilgili parametreler kullanılarak (σ , LAI, vs.) bitkiden olan ısı taşınımı için düz bir levha için verilen hesaplama yöntemi yeniden düzenleme yoluna gidilebilir [23]. Eşitliğin bu anlamda yeniden düzenlenmiş şekli Eşitlik 7'deki gibi verilebilir.

$$H = LAI \cdot h \cdot (T_l - T_a) \quad [7]$$

Hissedilir ısı akısı için önerilen bu eşitlik Deardorf'un önermiş olduğu Eşitlik-8'e benzemektedir [12].

$$H = 1.1 LAI \cdot \rho_{af} C_p C_f U_{af} \cdot (T_l - T_{af}) \quad [8]$$

Bu eşitlik bazı değişiklikler ve düzenlemelerle Ballick ve Sailor tarafından da kullanılmıştır [16]. Fakat Deardorf'un eşitliği birçok parametre içermekte ve hesaplanması oldukça karmaşıktır. Bu yüzden daha basit ve hesaplaması kolay bir eşitliğe ihtiyaç vardır.

3. Yeşil çatının Çatı Üzerindeki Sıcaklık Düşümü Verilerine YSA Modeli Uygulaması

Alexsandri ve Jones tarafından yapılan çalışmada, çeşitli iklimler için bina üzeri bitki örtüsünün ısı etkisini incelemiştir [32]. Bunun için iki-boyutlu bir matematiksel model geliştirilmiştir. Bu model aracılığıyla dünya üzerinde Tablo 1'de verilen dokuz şehir iklimsel özelliklerine göre incelenmiştir. Yeşil çatılar ve yeşil duvarların ısı konfor ve enerji tasarrufu ve çatı üzerinde sıcaklık düşüşüne etkileri incelenmiştir. Tablo 2'de

sadece Atina (Yunanistan) şehri Temmuz ayı iklim şartları için yeşil çatı kullanılması durumunda çatı üzerindeki sıcaklık düşümü verilmiştir.

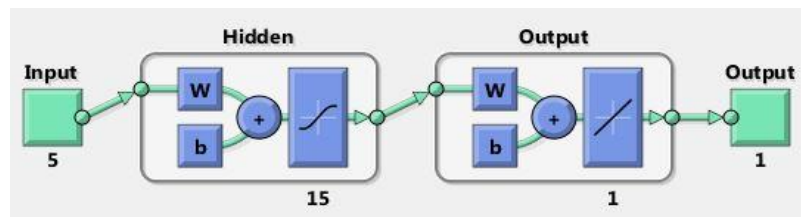
Tablo 1. YSA Öğrenmede Kullanılan Dünya Şehirlerinin Coğrafi Konum ve İklim Karakteri [6]

Şehir	İklim	Konum
Londra, İngiltere	Ilıman	51.32N, 0
Montréal, Kanada	Yarı Arktik	45.31N, 73.34W
Moskova, Rusya	Kontinental serin yaz	55.45N, 37.37E
Atina, Yunanistan	Akdeniz	37.59N, 23.43E
Pekin, Çin	Bozkır	39.48N, 116.23E
Riyad, Suudi Arabistan	Çöl	24.38N, 46.43E
Hong Kong, Çin	Subtropikal Nemli	22.16N, 114.12E
Mumbai, Hindistan	Yağmur ormanı	18.54N, 72.5E
Brasília, Brezilya	Savan	15.48S, 47.54W

Tablo 2. YSA'da kullanılan girdi ve çıktı verilerinin bir örneği (Atina-Temmuz) [8]

Atina (Temmuz)	Öğrenme Verileri				
	Zaman (h)	Toplam Güneş Işınımı (W/m ²)	Hava Sıcaklığı (°C)	Bağıl Nem (%)	Rüzgar Hızı (m/s)
4	0	22,40	61,56	3,68	-8,21
5	0	22,19	61,84	3,64	-7,18
6	14,88	22,60	60,22	3,62	-5,51
7	131,4	23,42	57,53	3,56	-3,08
8	300	24,25	54,01	3,69	-1,15
9	453,72	25,27	50,77	4,22	-0,64
10	592,56	26,30	47,26	4,63	-1,67
11	706,61	27,53	44,29	5,08	-3,59
12	773,55	28,56	41,05	5,41	-6,67
13	808,26	29,38	39,16	5,83	-10,77
14	798,35	29,79	37,82	6,24	-14,49
15	726,45	30,21	37,56	6,41	-18,72
16	627,27	29,79	38,12	6,39	-22,95
17	468,6	28,77	40,84	6,37	-26,41
18	312,4	27,53	44,37	6,09	-29,36
19	133,88	26,51	47,09	5,71	-30,51
20	17,36	25,48	50,08	5,31	-28,72
21	0	24,86	52,54	4,96	-25,77
22	0	24,25	54,71	4,45	-23,21
23	0	23,63	57,16	4,19	-20,77
24	0	23,42	57,99	4,09	-18,85

Bu çalışmada Tablo 1'de verilen şehirlerin Tablo 2'de verilen değerleri için YSA ile öğrenme incelenmiştir. Bunun için; 1 giriş, 1 gizli katman, 1 çıkış katmanı ve 1 çıkış olarak 4 katmandan oluşan bir ağ modeli kullanılmıştır. Gizli katman 15 nöron içermektedir. Ağın şematik gösterimi aşağıda verilmiştir.



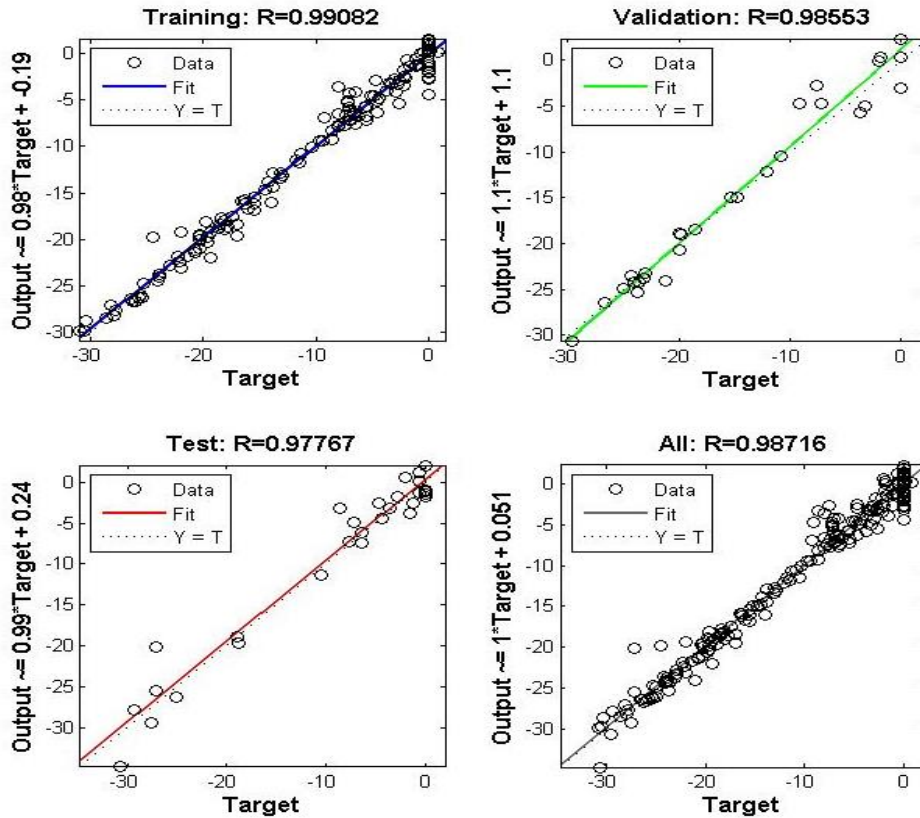
Şekil 5. Ağın şematik gösterimi

Ağ eğitiminde “Levenberg-Marquardt backpropagation” algoritması kullanılmıştır. Toplam 193 adet datadan %70’i eğitim datası, %15 doğrulama datası ve %15 test datası olarak programdan rastgele seçilmiştir. Ağ eğitilirken gizli katmandaki nöron sayısı ağın eğitim sonuçlarını direkt etkilediği için farklı nöron sayısı denenmiştir. 1’den 15 nörona kadar ağın eğitim değeri iyileşirken 15’den 50’ye kadar çok önemli ölçüde fark göstermemiş, 50’den sonra ise hata değeri artmaya başlamıştır. Bu yüzden gizli katmanda 15 nöron kullanılmıştır. Ağın eğitim sonuçları Şekil 6’da verilmiştir.

	Samples	MSE	R
Training:	135	1.05609e-0	9.94244e-1
Validation:	29	1.47117e-0	9.91286e-1
Testing:	29	4.01417e-0	9.81602e-1

Şekil 6. Ağın eğitim sonuçları

Şekilde görüldüğü gibi ortalama hataların karesi (MSE) eğitim için 1.05609, doğrulama için 1.47117 ve test için 4.01417 olmaktadır. R değeri; eğitim için 0.994224, doğrulama için 0.991286 ve test için 0.981602 olmaktadır. Buna bağlı olarak R^2 değerleri ise; eğitim için 0.988481, doğrulama için 0.982647 ve test için 0.963542 olmaktadır. Hataları regresyon diyagramları ise Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. Regresyon diyagramı

4. Yeşil çatının Çatı Üzerindeki Sıcaklık Düşümü YSA Modelinin Şanlıurfa Örneğine Uygulaması

Dünya şehirlerinden uygulanan YSA modeli ile elde edilen başarılı öğrenme sonuçları bu modeli Şanlıurfa şehri iklim verilerine uygulama için dikkate değer bir ümit vermektedir.

Böylece bozkır iklim tipinden akdeniz iklim tipine, çöl ikliminden yağmur ormanı iklim tipine kadar geniş bir yelpazedeki iklim verileri arasında yerini alan Şanlıurfa'nın sıcak karasal iklimi için de elde edilen YSA modeli ile çalışıldı. Tablo 3'de Şanlıurfa'nın coğrafi konumu verilmiştir. Bu coğrafi konumdaki Şanlıurfa'nın Tablo 4'de YSA modelinde kullanılacak iklim verileri görülmektedir. Burada Şanlıurfa'nın en sıcak ayı olan Haziran için 24 saatlik ortalama toplam güneş radyasyonu, hava sıcaklığı, bağıl nemi ve rüzgar hızı değerleri görülmektedir. Son sütunda ise YSA modeli uygulaması sonucu elde edilen 24 saatlik çatı yüzeyindeki tahmin edilen sıcaklık düşümü değerleri görülmektedir.

Tablo 3. YSA Öğrenmede Kullanılan Şanlıurfa Şehrinin Coğrafi Konum ve İklim Karakteri

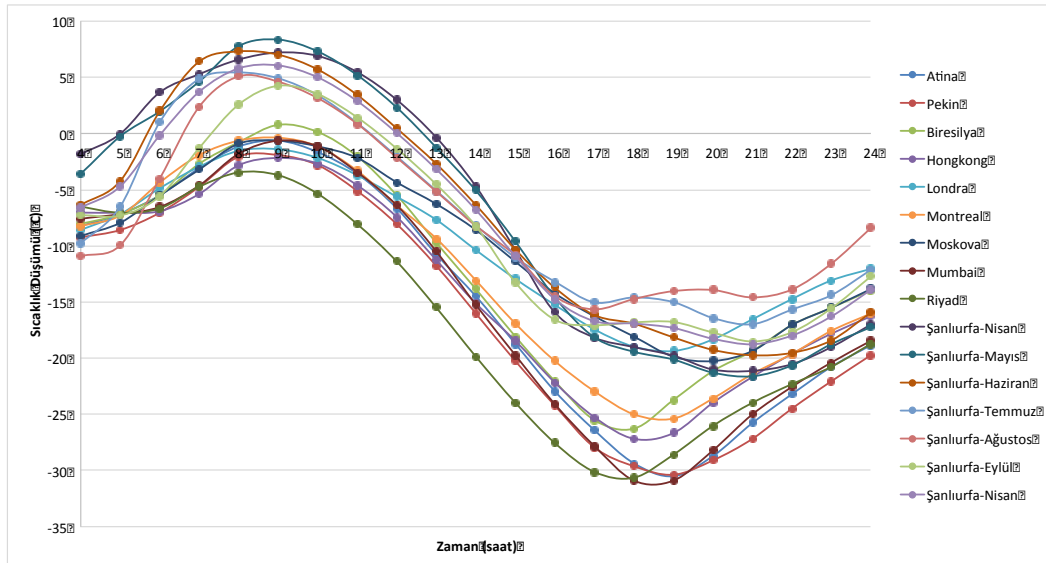
Şehir	İklim	Konum
Şanlıurfa, Türkiye	Karasal (Kontinental) sıcak yaz	37.16N, 38.78E

Tablo 4. YSA'da kullanılan girdi ve çıktı verilerinin bir örneği (Şanlıurfa - Haziran)

Urfa (Haziran)	Öğrenme Verileri				
	Toplam Güneş Işınımı (W/m ²)	Hava Sıcaklığı (°C)	Bağıl Nem (%)	Rüzgar Hızı (m/s)	Çatı Yüzey Sıcaklığındaki Azalma (°C)
4	3,655466	22,67	41,19	1,86	-6,34
5	54,66595	23,05	41,38	1,78	-4,23
6	223,9104	25,41	37,24	1,73	1,98
7	421,7123	27,81	31,27	1,87	6,42
8	573,374	29,87	27,14	1,98	7,30
9	693,9131	31,51	23,48	1,99	7,01
10	773,7411	32,87	20,30	2,02	5,69
11	812,1609	33,84	17,76	2,17	3,41
12	807,7112	34,70	15,86	2,37	0,44
13	758,8315	35,13	14,86	2,55	-2,72
14	667,0491	35,28	14,88	2,71	-6,37
15	551,9227	35,11	14,49	2,79	-10,34
16	412,5557	34,64	14,59	2,91	-13,73
17	260,9687	33,43	15,51	2,97	-16,16
18	107,6024	31,57	18,32	2,98	-16,93
19	10,21649	29,89	22,00	3,01	-18,15
20	0	28,53	24,92	3,12	-19,27
21	0	27,45	27,29	3,12	-19,74
22	0	26,71	29,53	2,99	-19,53
23	0	25,91	31,86	2,81	-18,41
24	0	24,93	34,49	2,62	-15,95

Tablo 4'de görüldüğü gibi çatı yüzey sıcaklığındaki azalma Tablo 3'de Atina için verilen değerlerden biraz daha düşük çıkmaktadır, bazı saatlerde de bir miktar sıcaklıkta artım gözlemlenmektedir. Bu durumun Şanlıurfa için meteoroloji tarafından verilen rüzgar değerlerinin diğer dünya şehirlerine göre bir miktar düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. YSA üzerinde yapılan bazı denemelerde rüzgar hızını dünya şehirleri değerlerine yaklaştırıldığında bu farkın azaldığı gözlemlenmiştir. Yine Şekil 8'de verilen grafikte dünya şehirleri ile Şanlıurfa'nın Nisan-Eylül ayları arası çatı yüzeyi sıcaklık düşümü karşılaştırılması verilmiştir. Grafikte de görüldüğü gibi Şanlıurfa için de yeşil çatı

kullanımı durumunda olumlu sonuçlar vermektedir. Grafikte görülen tepe noktalardaki yükselme ve düşüşler yukarıda konu edildiği gibi verilen rüzgar hız değerlerinin düşüklüğünden kaynaklanmaktadır.



Şekil 8. Şanlıurfa Nisan-Eylül arası çatı yüzey sıcaklık düşümünün dünya şehirleri ile karşılaştırması

5. Değerlendirmeler

Yapılan ölçüm ve incelemelerden elde edilen iklim verileri ve yeşil çatı yüzeyindeki sıcaklık düşümü değerleri kullanılarak haziran ayında, gün içerisinde yüksek güneş ışınımı aldığı, öğlen saatlerinde ortalama 35°C sıcaklığa ulaştığı ve bağıl nem değerinin bu saatlerde %15'e düştüğü şartlar için elde edilen çatı üzerindeki 20°C'yi bulan sıcaklık düşümü değerleri Şanlıurfa'da yeşil çatının kullanımının faydası hakkında olumlu fikir vermektedir. Genel olarak bakıldığında günün en sıcak saatlerinde çatı üzerinde oluşan ısı adacığının sıcaklığındaki ortalama 15-20°C'lik düşüşün pasif soğutma etkisi ve enerji tüketiminde azaltıcı etkisi olacaktır. Yeşil çatı uygulamasının çatı sıcaklık düşümü karşısındaki ısıl durumunun belirlenmesi için geliştirilen YSA modeli gelecekte ülkemizde ve dünyada yapılacak yeşil çatı uygulamalarına başlama noktasında bir öfikir verecektir.

Bilindiği gibi Türkiye'de bir kaç farklı iklim tipi birden görülmektedir. Bu durumda, değişik iklim şartları için verilen değerler ışığında, yeşil çatının Türkiye'de de yavaş yavaş kullanıma girdiği de düşünülerek, yeşil çatının yurdumuzun diğer iklim şartlarındaki illeri için ısıl performansının ve çatı üzerindeki sıcaklık düşümü etkisi ileriki çalışmalarda hesaplanması önem arz etmektedir. Böylece tüm Türkiye için yeşil çatı kullanımına ait bir perspektife sahip olunabilecektir. Burada, çöl iklimine sahip Riyad gibi yeşil çatının uygulanması konusunda iklimsel verileriyle uygulanması en uzak ihtimal gibi görünen sıcak karasal iklime sahip Şanlıurfa için de uygulanabilirliği görülmüş, ayrıca elde edilen olumlu sonuçlar diğer şehirler için de ümit vadetmektedir.

6. Kaynaklar

- [1] <http://www.roofportland.com/wp-content/uploads/2009/04/green-roof-in-norway1.jpg>
- [2] ROOFSOL: Roof Solutions for natural cooling. Contract No. JOR3CT960074, Commission of the European Communities, DG XII Science, Research and Development.
- [3] Apec Çelik Sakura Park, Yalova, Türkiye, <http://www.mimdap.org>
- [4] Ayata T, Tabarez-Velasco PC, Srebric J. An investigation of sensible heat fluxes at a green roof in a laboratory setup. *Build Environ* 2001;46:1851–61.
- [5] http://www.v-ter.com/images/fotos_sedums
- [6] E. Alexandri, and P. Jones, Developing a one-dimensional heat and mass transfer algorithm for describing the effect of green roofs on the built environment: comparison with experimental results, *Building and Environment* 42, 2835–2849, 2007.
- [7] S. Gaffin, C. Rosenzweig, L. Parshall, D. Beattie, R. Berghage, G. O’keeffe, D. Braman, Energy Balance Modeling Applied To A Comparison Of White And Green Roof Cooling Efficiency, Center For Climate Systems Research, Columbia University, 2880 Broadway, New York, Ny, 10025 / 2, Penn State Center For Green Roof Research, Department Of Horticulture, Penn State University, 301 Tyson Building, University Park, Pa, 16802
- [8] E. Alexandri, P. Jones, Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates , *Building and Environment*, Volume 43, Issue 4, April 2008, Pages 480-493
- [9] S. Gaffin, C. Rosenzweig, L. Parshall, D. Beattie, R. Berghage, G. O’keeffe, D. Braman, Energy Balance Modeling Applied To A Comparison Of White And Green Roof Cooling Efficiency, Center For Climate Systems Research, Columbia University, 2880 Broadway, New York, Ny, 10025 / 2, Penn State Center For Green Roof Research, Department Of Horticulture, Penn State University, 301 Tyson Building, University Park, Pa, 16802
- [10] D.J. Sailor, A green roof model for building energy simulation programs, *Energy and Buildings* 40 (2008) 1466–1478
- [11] P.C. Tabares-Velasco, Predictive heat and mass transfer model of plant-based roofing materials for assessment of energy savings, The Pennsylvania State University, (2009), 180 pages; 3399713
- [12] J. W. Deardorff, Efficient prediction of ground surface temperature and moisture, with inclusion of a layer of vegetation, *Journal of Geophysical Research* 83 (1978) 1889–1903.
- [13] C. Miller, Vegetated roof covers: A new method for controlling runoff in urbanized areas, In Proc. 1998 Pennsylvania Stormwater Management Symposium, CD-ROM. Villanova, Pa., Villanova University, 1998.
- [14] P.C. Tabares-Velasco, and J. Srebric, The Role of Plants in the Reduction of Heat Flux through Green Roofs: Laboratory Experiments, *ASHRAE Transactions*, 115(2) 2009.
- [15] T. G. Theodosiou, Summer period analysis of the performance of a planted roof as a passive cooling technique, *Energy and Buildings* 35 (2003) 909–917
- [16] D.J. Sailor, A green roof model for building energy simulation programs, *Energy and Buildings* 40 (2008) 1466–1478
- [17] D. Hillel, *Environmental Soil Physics*, Academic Press, San Diego, 1998.
- [18] Y. A. Cengel, *Heat Transfer: A Practical Approach*, McGraw-Hill, 2006.
- [19] F. P. Incropera, D.P. Dewitt, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, John Wiley & Sons, New York, 2002.
- [20] J. L. Monteith, and M. H. Unsworth, *Principles of environmental physics* (2nd edn.). London: Edward Arnold, 1990.

- [21] M. E. Jensen, R. D. Burman and R. G. Allen (Eds.). *Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements*, Manual No. 70, American Society of Civil Engineers, New York, 1990.
- [22] J. Denardo, *Green roof mitigation of Stormwater and Energy Usage*, MS Thesis, Dept. of Horticulture, Pennsylvania State University, PA, 2003.
- [23] R. G. Allen, L. S. Pereira, D. Raes, and M. Smith, *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements*, Irrigation and Drainage Paper No. 56, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 1998.