

Alternatif Enerji Kaynaklarının Termal Enerji Depolama ile Değerlendirilmesi

Halime PAKSOY¹, Hunay EVLİYA¹, Bekir TURGUT², Muhsin MAZMAN³, Yeliz KONUKLU¹, Özgül GÖK¹, Metin Ö. YILMAZ¹, Selma YILMAZ¹, Beyza BEYHAN¹, Nurten ŞAHAN¹

¹Çukurova Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü, Adana
e-posta: ozgulgok@gmail.com, yelizoz@yahoo.com, metinyi@poas.com.tr,
[selmayilmaz01@gmail.com](mailto:selayilmaz01@gmail.com), beyzabeyhan@gmail.com,
nurten_shn@hotmail.com, hopaksoy@cu.edu.tr, hevliya@cu.edu.tr

²Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği,
Adana, e-posta: bturgut@cu.edu.tr

³TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Gebze-Kocaeli, e-posta:
muhsin.mazman@mam.gov.tr

ÖZET

Dünyanın fosil yakıtsız bir geleceğe artık hazır olması gerekmektedir. Enerji kaynaklarının sürekliliği ve güvenilirliği tüm dünya ülkelerinin gündeminde bulunan en önemli konulardan biridir. Gittikçe artan enerji ihtiyacını karşılamak için yakılan fosil yakıtlar, en önemli sera gazı olarak kabul edilen karbon dioksit (CO₂) salarak küresel ısınmaya yol açmaktadır. Alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanan, enerji verimliliğini artıran teknolojilerin önemi her zamankinden daha fazla artmaktadır. Termal enerji depolama (TED) iklim değişikliği ile mücadelede enerji tasarrufu ve verimliliğini artıran, ısıtma ve/veya soğutmaya yönelik esnek çözümler sunmaktadır. Ayrıca, yerel ve yenilenebilir kaynaklardan maksimum düzeyde yararlanılabilmektedir. Burada bildiride TED tekniklerinin bina, tarım ve test kabini gibi üç farklı uygulamalarından elde edilen sonuçlar verilmektedir. Mevsimlik termal enerji depolamanın domates yetiştirilen bir serada kullanılmasıyla %68 enerji tasarrufu sağlanmıştır. Test kabini için geliştirilen faz değiştiren maddede termal enerji depolama ünitesi ile ısıtma ve soğutma yüklerinin sırasıyla %17 ve % 7 ye kadar düşürülebileceği gösterilmiştir. Ayrıca bir süper market için uygulanan yine mevsimsel depolama sonucunda %60 oranında bir tasarruf elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlardan yararlanarak Türkiye’de alternatif enerji kaynaklarının termal enerji depolamayla değerlendirilmesinin ekonomik ve çevresel katkıları belirlenmiştir.

1. GİRİŞ

21. yüz yılda hızla artan dünya nüfusuna ve endüstrileşmeye paralel olarak enerji tüketimindeki artış her geçen gün daha da belirginleşmektedir. Günümüz enerji sistemleri genel olarak fosil yakıt kullanımı üzerine kurulmuştur ve her geçen gün tüketim miktarı hızla artmaktadır. Fosil yakıt tüketimindeki bu artış, dünyamızın geleceğini şimdiden tehdit eder duruma gelmiştir. Yer kürede yaşayan nüfusunun sadece %10'u kaynakların %90'ını tüketmektedir. Daha sağlıklı bir gelecek için, insanoğlu kendisine fosil yakıtlardan bağımsız bir gelecek tasarlamalıdır. Sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kullanımı çevre ile dost olmasının yanı sıra enerjide dışa bağımlılığı da azaltacaktır. Fosil yakıtların kullanımı sonucunda atmosfere salınan zararlı gazların neden olduğu iklim değişikliği ve küresel ısınma gibi insanlığın geleceğini tehdit eden sorunları da ortadan kaldıracaktır.

Termal enerji depolama (TED) teknikleri ısıtma ve soğutma sistemlerinde, enerjinin daha etkin ve verimli kullanımını sağlayarak önemli ölçüde tasarrufu sağlamaktadır. Bu durum fosil yakıtların daha az kullanımı neden olmakta ve çevre ile dost iklimlendirme teknikleri geliştirme olanağını sunmaktadır. Yerel yenilenebilir enerji kaynaklarının, termal enerji depolaması ile birlikte kullanımı sonucunda çok verimli sistemler tasarlanabilir (Dincer ve Rosen, 2002). TED sistemlerinin günlük ve mevsimlik kullanımı, özellikle soğutma yükünden kaynaklanan aşırı yükü azaltmaktadır. Bir diğer ilginç TED uygulaması ise yapı malzemelerinde kullanılan Faz Değiştiren Maddelerin (FDM) binaların ısıtma ve soğutma yükünde sağladığı azalmalardır.

TED kullanımı ile sağlanan enerji tasarrufu sera gazları emisyonunda ciddi bir azalma sağlamaktadır. Dünyada pek çok ülke TED sistemlerini kullanarak CO₂ salınımında ciddi azalmalar elde etmektedirler. 1970'den beri Uluslar arası Enerji Ajansı Enerji Depolaması ile Enerji Tasarrufu Uygulama Antlaşması (IEA ECES-IA) çerçevesinde 13 OECD ülkesi TED sistemlerinin araştırma-geliştirme faaliyetlerini sürdürmektedir.

Almanya enerji kullanımından kaynaklanan CO₂ emisyonu salınımında 2005 yılı öncesinde yaklaşık %25'lik bir azalma sağlamıştır. Bu başarılı düşüşü, içerisinde TED uygulamaları da olan ve alternatif enerji teknolojilerini destekleyen ciddi bir programlar ile sağlamışlardır. Almanya'nın şimdiki uzun vadeli hedefi ise 2050 yılına kadar fosil yakıtlardaki kullanımı %50 oranında azaltmaktır. Almanya'da şu an 8 adet büyük ölçekli, güneş enerjisi destekli farklı TED sistemleri kullanan yerleşim

merkezleri inşa edilmiştir (Wille and Lottner, 2006). Alman Federal Cumhuriyeti Parlamento Binası Reichstag, şu an kojenerasyon sisteminden atılan atık ısının akiferde depolanması ile ısıtılıp soğutulmaktadır. Binalarda kullanılan Mikro kapsüllenmiş FDM'ler ilk olarak Almanya'da tasarlanmış ve kullanımına başlanmıştır.

Hollanda Akifer Termal Enerji Depolamasında (ATED) uygulama sayısı açısından dünya lideri konumundadır. 2006 yılı rakamlarına göre ülkede yaklaşık 600 adet ATED uygulaması bulunmaktadır (Snijders 2006). Bahsi geçen ATED uygulamaların %78'i konutlarda, %12 si sanayide ve %10 da ziraat sektöründe olmuştur. Hollanda'daki büyük binalarda ATED uygulaması artık standart bir seçenek haline gelmiştir. Ülke çapında 2020 yılına kadar 15 PJ yada bir başka deyişle 200.000.000 m³ doğal gaz kullanımına eşdeğer miktardaki enerji ihtiyacı TED uygulamaları ile karşılanacaktır (Snijders and Van Aarssen, 2003).

İsveç'te ise 50 adet büyük ölçekli ATED ve 300 adet Yer Kaynaklı Isı Pompası uygulaması ile 2.3 milyon ton/yıl CO₂ salınımında azalma sağlamıştır. Bu rakam İsveç'in toplam yıllık CO₂ emisyonu salınımında %3.5'luk bir rakama denk gelmektedir.

Kanada dünyanın en büyük yer kaynaklı ısı pompası uygulamasına sahiptir. Sistem Ontario Üniversitesi Teknoloji Enstitüsünde olup, 200 metre derinliğinde 370 adet kuyu içermektedir (Beatty et al., 2006). Alberta Kanada'da bulunan Okitoks kasabası Kuzey Amerika'daki ilk merkezi güneş enerjisi ile ısıtma sistemine ev sahipliği yapmaktadır (Wong et al., 2006). Sistem güneş enerjisinin yeraltındaki kanallar aracılığı (BTED) ile depolanması ve depolanan bu enerjinin kış ayları boyunca bina ısıtmasında kullanılması prensinde dayanmaktadır. Bu dünyadaki ısıtma yükünün %90'nın güneş enerjisinden karşılandığı ilk projedir. Bu uygulama sonucunda ev başına yılda 5 ton sera etkisine yol açan gazının atmosfere salınımı azaltılmıştır.

ABD'de ise buz depolaması özellikle soğutma işleminden kaynaklanan enerji yükünün azaltılması amacı ile kullanılmaktadır. ABD'de bulunan ve iklimlendirmeye ihtiyaç duyan tüm binalarda buz depolaması uygulaması yapılırsa, şu anki enerji üretim ve iletim hatlarından %40 daha azına ihtiyaç duyulacağı tahmin edilmektedir (MacCracken, 2006). Ayrıca ABD New Jersey eyaletinde kurulu bulunan Richard Stockton Üniversitesi 400 kuyuluk büyük bir Yer Kaynaklı Isı pompası uygulamasına ev sahipliği yapmaktadır. Bu sistem hem ısıtma hem de soğutma amacı ile

kullanılmaktadır. Bu uygulama ile yılda 2300 ton CO₂ salınımında azalma elde edilmiştir.

Japonya'da buz depolaması teknolojisini, elektrik enerjisinde geçerli olan farklı saat-tarif uygulamasında faydalanmak için kullanmaktadır. 2001 yılı verilerine göre Japonya çapında 16.000 buz depolaması uygulaması bulunmaktadır (Paksoy 2003). Bu uygulamalar enerji verimliliğini %15 arttırdığı gibi, CO₂ salınımını %20 azaltmaktadır (Sakai 200).

Bu bildiri, Türkiye'de en son uygulanan 3 farklı TED uygulaması sonucunda elde edilen CO₂ salınımındaki elde edilen azalmaları içermektedir. Bahsi geçen projeler bir market, sera ve test kabini iklimlendirmesidir. Bu projelerde farklı sektörlerde farklı kullanıcılar ile TED uygulamaları gerçekleştirilmiştir.

2. Termal Enerji Depolaması

Termal enerji depolaması (Thermal Energy Storage=TES), enerjinin elde edilmesiyle, talep arasındaki fark ve yer-zaman arasındaki uyumsuzluğu gideren, hem ısıtma hem de soğutma için çözümler veren bir sistemdir. Konut, sanayi, tarım ve ulaşım sektörlerinde uygulama şansı bulunan TED, elektrik enerjisi ve kömür, doğal gaz, petrol gibi fosil yakıtlardan tasarruf sağlayarak enerji verimliliğini artırmaktadır. Doğal enerji kaynaklarından (hava, su, toprak ve güneş enerjisi) ve atık ısıdan yararlanmak için de TED gereklidir. Ayrıca Türkiye'de yeni uygulanması kararı alınan elektrik fiyatlarının değişken tarifesine göre, talebin fazla olduğu saatlerle az olduğu saatler arasında %50'ye ulaşan bir fark oluşmaktadır. Ucuz olan dönemde depolanan enerjinin pahalı saatlerde kullanılmasıyla da daha ekonomik enerji tüketimi sağlanabilir.

2.1 Termal Enerji Depolaması Teknikleri

TED tekniklerinde, duyulur ısı (yeraltında termal enerji depolama), faz değiştiren maddelerin ergime ısısı (FDM&PCM) veya kimyasal tepkimelerin ısısı şeklinde depolanabilir. Bu tekniklerle uzun süreli (yaz-kış) veya kısa süreli (gece-gündüz) depolama yapılabilir.

Kısa süreli amaçlarla daha çok istenilen sıcaklıkta faz değiştiren (katı-sıvı, katı-katı), çeşitli organik ve inorganik maddelerden yararlanılmaktadır. En çok kullanılan maddeler arasında; su-buz parafinler çeşitli tuz hidratları sayılabilir.

Uzun süreli depolama teknolojilerinde daha çok duyulur ısı tekniklerinden (yeraltında termal enerji depolama) yararlanır. Bunlar; Akiferde Termal Enerji Depolama (ATED) , Kanallarda Termal Enerji Depolama (BTES), Yer altı mağaraları, Çukur ve Tanklarda Termal Enerji Depolama (CTES) olarak gruplandırılmaktadır.

Termokimyasal tepkimelerden hem kısa süreli hem de uzun süreli olarak, özellikle yüksek sıcaklıklarda yararlanılabilmektedir. Bu sistemlerde kullanılan maddeler çok çeşitlidir (Paksoy, 1998).

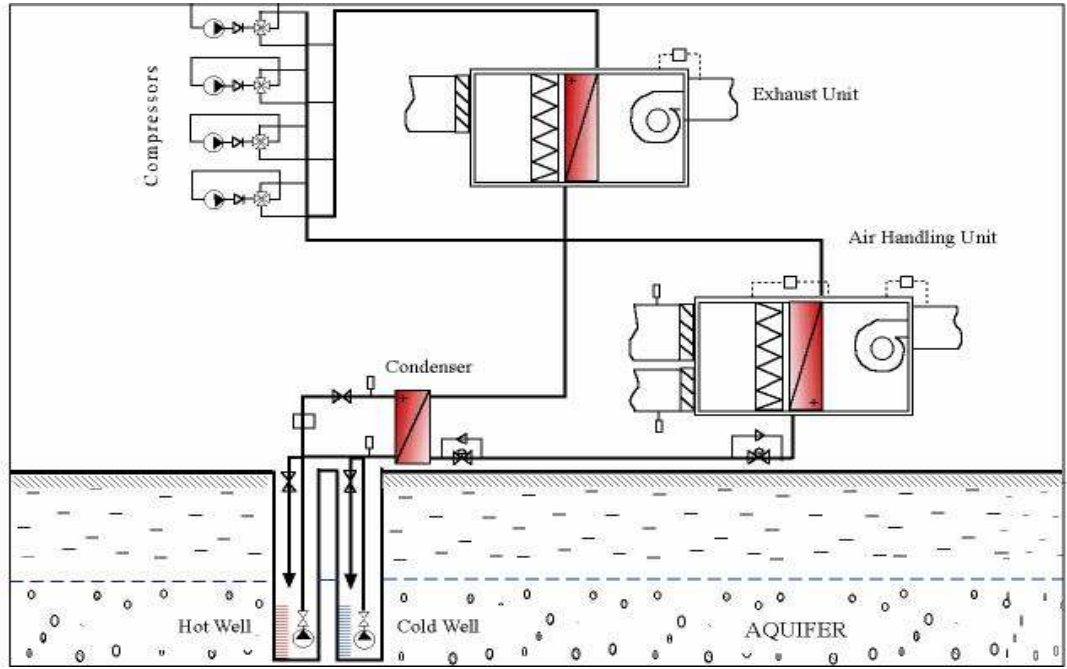
3. Türkiye’de Atmosfere CO₂ Salınımını Azaltmak için Uygulanan TED Projeleri

3.1. Süpermarket İklimlendirmesi için ATED Uygulaması

Bu projedeki süper market binası Akdeniz’e kıyısı bulunan Mersin ili sınırları içerisinde yer almaktadır. Binanın toplam kapalı alanı 1800 m² olup, iklimlendirilen alan 1400 m² dir. Bina için hesaplanan en yüksek soğutma yükü 195 kW olup en yüksek ısıtma yükü ise 74 kW dir. ATED sistemi HVAC sistemine 2 farklı kuyu grubu ile bağlanmıştır (Şekil 1). Her bir kuyu 100 m. Derinliğinde ve 150 mm. Çapında olup her iki kuyu arasındaki mesafe 75 m. dir. ATED sistemi her bir kuyudan 4kg/sn yer altı suyu gelecek şekilde tasarlanmıştır.

Şekil 1’de de görüldüğü gibi sistemde 4 adet Copeland ZR19M3 kompresör bulunmaktadır. Bu kompresörler soğutucu gaz çevrimine paralel olarak bağlanmıştır. Ayrıca bu kompresörler, düşük ve yüksek basınç, aşırı ısınma ve aşırı yüklenme gibi olası anormal durumlara karşı bir çok önleyici emniyet şalteri ile korumaya alınmıştır. İlk başta ısı pompası çalışması esnasında her bir kompresör geri dönüşüm vanasına bağlanmıştır, ancak daha sonra vana içerisindeki basınç düşümünü azaltmak için kompresörler bir tek küresel vana grubuna bağlanmıştır. Sistemin kapasite kontrolü, hava geri dönüş termostatu ve yüksek/düşük basınç sensörleri ile yapılmıştır.

Sistemde bulunan havalandırma fanı 7.5 kW’lık elektrik motoru ile çalışmaktadır. Hava debisi 600 Pa harici statik basınçla 5500 L/sn dir. Isı değiştiriciler ise alüminyum plaka ve bakır tüplerden yapılmıştır. Toplam ısı transferi alanı 200 m² olup ısı transferi hızı 1.6 m/s. dir. Sistem 2000 L/sn temiz hava ile beslenmektedir. Egzoz ünitesi de aynı tip bir fanla çalışmaktadır. Fanı 1.5 kW lık bir motor çalıştırmaktadır. Bu ünitenin de 350 Pa harici statik basınçla 2000 L/sn lik bir hava debisi bulunmaktadır. Kondenser 316 adet paslanmaz çelikten meydana gelen plakalı ısı eşanjörüne bağlıdır. Toplam kondens kapasitesi, 35 °C kondens sıcaklığında 200 kW olup, 20 °C’de 4 kg/sn sudur.



Şekil 1: Süper Market için ATED Sistemi

Sistemin iki çalışma modu bulunmaktadır. Soğutma modunda HVAC kondenselerini soğutmak için soğuk depolama amaçlı kuyudan gelen soğuk su kullanılmaktadır. Kondenseri soğutan su, bu atık ısı ile ısınmaktadır. Elde edilen sıcak suyu da sıcak depolama amaçlı kuyuya geri besleme yolu ile depolamaktadır. Kondenseri 18 °C sıcaklığındaki yer altı suyu ile soğutmak, yaz ayları boyunca 30-35 °C olan dış ortam sıcaklığı ile soğutmaktan çok daha verimli olmaktadır. Bu durum sistemin kullandığı elektrik enerjisinde önemli bir azalma sağlamıştır. Depolanan atık ısı, kış ayları boyunca, ısıtma ihtiyacı doğduğunda ısıtma amaçlı kullanılacaktır. Bu çalışma prensibi ile toplam depolanan enerji miktarı 0.4 MWh olacaktır.

Aynı kapasitedeki konvansiyonel hava soğutmalı kondenseler 898 kWh/gün elektrik enerjisine ihtiyaç duymaktadırlar. En yüksek soğutma yükünde ise sistemin ihtiyaç duyduğu enerji miktarı ise 2400 kWh/day olmaktadır. Ortalama verim performansı (COP) ise 2.67 olarak hesaplanmıştır. ATED sistemi Ağustos 2001'de soğutma modu ile başlamıştır. 18 °C'lık yer altı suyu kullanarak verim performansı 4.16 (COP) olmuştur. Bu verim performansı konvansiyonel sisteme göre %60 daha fazladır.

ATED uygulamasının konvansiyonel uygulamalara göre %60 daha iyi verim performansı nedeni ile sistem, konvansiyonel bir sisteme göre daha küçük ekipmanlara ihtiyaç duymaktadır (kopresör, boru vana vb). Bu durum, ilk yatırım miktarında ekonomik olarak ciddi bir azalmaya neden olmuştur. ATED uygulaması için kuyu açımı nedeni ile yapılan fazladan yatırımlar, daha az ısı pompası gideri ile karşılanmıştır. Elde edilen verim performansı ile ATED sistemi 574.2 kWh/gün enerji tüketmiştir. ATED teknolojisi ile elde edilen yıllık enerji miktarı 118 MWh olmuştur.

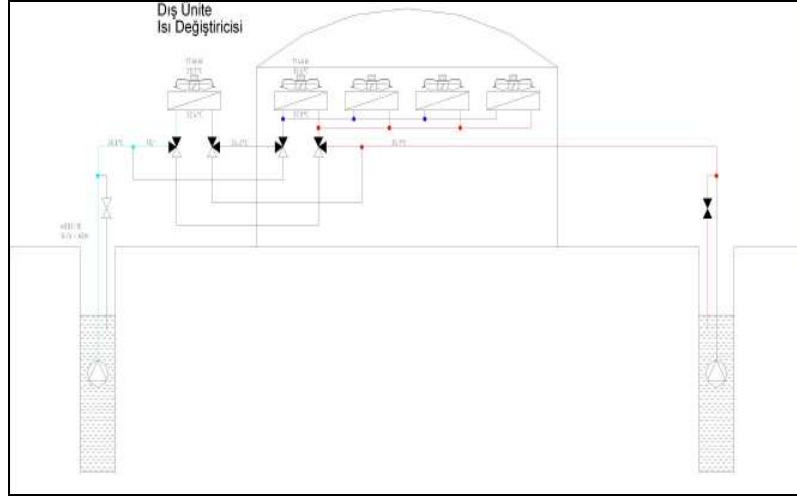
3.2. Sera İklimlendirmesi için ATED Uygulaması

Son 20 yıllık iklim verileri göz önünde bulundurulduğunda Akdeniz bölgesinde bulunan seraların ortalama 90 gün, günde yaklaşık 8 saat, 150 W/m²'lik ısıtma ihtiyacı bulunmaktadır. Bu ihtiyacı karşılamak için fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Fosil yakıt kullanımının işletme maliyetine getirdiği yük, ayrıca yanma sonucu meydana gelen kül ve atmosfere salınan zararlı gazlar seracılığın önündeki en büyük engeller olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun yanında bahar ayları boyunca Akdeniz iklimindeki plastik kaplı seralarda soğutma ihtiyacı vardır.

Bu TED uygulaması için Adana'da bulunan Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü Araştırma Alanı içerisinde birbirinden bağımsız ancak aynı özelliklere sahip her biri 360 m² büyüklüğünde 2 adet araştırma serası kullanılmıştır. Seralar poli-etilen örtü ile kaplıdır. Seralardan birinde ATED tekniği ile , diğerinde de konvansiyonel sistemlerle ısıtma soğutma uygulanmış ve yetiştiricilik yapılmıştır. Böylece iki teknik arasındaki bitkisel yetiştiricilik, ekonomik ve çevresel faydalar karşılaştırmalı olarak ortaya konmuştur. Şekil 2'de ATED uygulamasının teknik çizimi bulunmaktadır. Sistem biri sıcak diğeri soğuk olmak üzere iki adet 80 m derinliğinde 0.40 m çapında kuyu içermektedir. Isı dağılımı ve toplanması için havadan suya ısı değiştiriciler kullanılmıştır. Uygulamada kullanılan 5 adet (bir adet dış ünite, 4 adet iç ünite, (Şekil 2) havadan suya ısı değiştiriciler ise 8300 m³/saat hava kapasiteli olup 350 W gücündeki fanlar ile çalışmaktadır.

Uygulanan ATED sisteminin temel çalışma prensibi kısaca şöyledir; Akdeniz iklimindeki plastik kaplı seralarda iç sıcaklık 5 ay boyunca günde yaklaşık 6 saat 40-60 °C civarına kadar yükselmektedir. Sera içinde biriken bu atık enerji sudan havaya ısı değiştiriciler aracılığı ile yer altı suyuna transfer edilmiştir. Isınan yer altı suyu ise akifere geri besleme yolu ile depolanmıştır. Depolanan enerji 2005-2006 kış ayları boyunca geri çekilip aynı ısı değiştiriciler aracılığı ile sera ısıtmasında

kullanılmıştır. Kış ayları boyunca ısıtmada kullanılan yer altı suyu dış ortam sıcaklığının 10 °C'den az olduğu saatlerde sera dışında bulunan bir başka ısı değiştirici (dış ünite ısı değiştirici) ile soğutulup soğuk kuyu ile yine akifere geri besleme yolu ile depolanmıştır. Soğuk depoda depolanan su ise 2006 yılı bahar aylarında, sera soğutmasında kullanılmıştır.

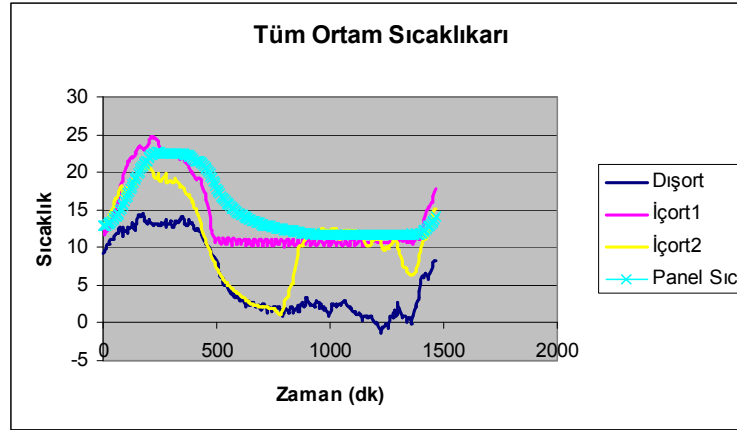


Şekil 2: Sera İklimlendirmesinde kullanılan ATED Sistemi

Şekil 3'te Ocak 2006 tarihinde alınmış veriler ile elde edilmiştir. Ölçüm aralığı 29 Ocak 2006 sabah saat 9:00 ile 30 Ocak 2006 sabah saat 9:00 arasını kapsayan 24 saatlik zaman dilimini içermektedir. Söz konusu gece, deneme süresince rastlanılan en soğuk gecedir. Dış ortam sıcaklığı 0 °C'ın altına düşmesine rağmen, içort1 ATED serasında 11 °C olan optimum sıcaklığın (domates için gerekli olan mümkün en düşük sıcaklık) altına düşmemiştir. Fosil yakıt ile ısıtılan sera da ise saat 17.00 ile 21.00 arasındaki 4 saat, gece vardiyasının geç gelmesi ve ısıtma sisteminin hazırlanmasının zaman alması nedeni ile iç ortam sıcaklığı optimum sıcaklık değerlerinin altına düşmüştür. Saat 21:00'dan sonra ısıtılmaya başlayan kontrol serası istenilen iç sıcaklık değerlerine ulaşmıştır.

Kontrol serasında 2005-2006 kış ayları boyunca 2.3 ton 6 numara fuel-oil kullanılmıştır. Litresi 0.8 TL olan bu yakıtın işletmeye toplam maliyeti 1.834 TL olmuştur. Buna karşılık ATED serasında kullanılan elektrik miktarı ise 554 TL olmuştur. Konvansiyonel tekniğin ATED sistemine göre 3.2 kat daha pahalı olduğu gözlemlenmiştir. Buna karşılık yıl sonunda domates verimi ATED serasında kontrol serasına göre %40 daha fazla olmuştur. Sistemin ısıtma ve soğutmadaki verim

performansı (COP) 7.6 ve 3.2 olmuştur. Toplam enerji tasarrufu 36 MWh/yıl olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3: 30.Ocak.2006 tarihinde alınan ortam sıcaklıkları

3.3. Binalar için Mikrokapsüllenmiş FDM'lerde TED Uygulaması

İzolasyon malzemesine destek amaçlı Mikrokapsüllenmiş FDM ile TED uygulaması Çukurova Üniversitesi Yerleşkesi'nde bulunan 4 m² bir test kabininde yapılmıştır. Bu pilot projedeki amaç, kabinin ısıtma ve soğutma yükünü azaltmaktır. ASHRAE (2001) yöntemiyle yapılan hesaplamalarda, kabinin ısıtma ve soğutma yükleri 665 W ve 2391 W olarak bulunmuştur. Bu uygulamada iki farklı FDM kullanılmıştır. Bunlar Micronal 5001 (erime noktası 26 °C, gizil ısı 110 kJ/kg) ve Micronal 5008 (erime noktası 23 °C, gizil ısı 110 kJ/kg). Uygulamada, 3.5 kg civarındaki mikrokapsüllenmiş FDM ile IZOCAM firmasının IZOPAN izolasyon ürününün beraber kullanıldığı sandviç panel geliştirilmiştir.

Kabin içindeki sıcaklık dağılımı 2007 yazı ve 2007 kışında sırası ile izolasyonsuz ve FDM siz, FDM siz ve izolasyonlu, FDM li ve izolasyonsuz, FDM li ve izolasyonlu olmak üzere 4 farklı şekilde ölçülmüştür.

Yaz ayları boyunca kabindeki ortalama sıcaklık düşüşü sadece FDM li ve izolasyonlu ölçümde 2.49 °C olmuştur, 0.59 °C'lik düşüş ise sadece izolasyon malzemesi kullanılan ölçümde elde edilmiştir. Bu sıcaklık düşüşleri ile ASHRAE (2001) yöntemiyle hesaplanan soğutma yükü 2261 W olarak belirlenmiştir. Bu durum, FDM li izolasyon kullanılarak soğutma yükünde yaklaşık %7 lik bir azalmanın sağlandığını göstermiştir.

Kış aylarında ise kabin içinde elde edilen sıcaklık yükselişi, sadece FDM kullanılan ölçümlerde 1.61 °C, sadece izolasyon malzemesi kullanılan ölçümlerde

1.26 °C ve hem FDM hem de izolasyon malzemesi kullanılan ölçümlerde ise 2.24 °C olarak bulunmuştur. Yine ASHRAE (2001) yöntemiyle hesaplanan ısıtma yükünde her 3 durumda ısıtma yükü sırası ile 601 W, 545 W ve 510 W bulunmuştur. FDM ve izolasyon kullanılarak kabinin ısıtma yükü %10 azalırken enerji tasarrufu %23 olmuştur. 1440 saat soğutmadan elde edilen yıllık enerji tasarrufu 183.6 kWh/yıl olmuştur. 1890 saat ısıtmadan elde edilen yıllık enerji tasarrufu 292.2 kWh/yıl olarak bulunmuştur. Kabinin izolasyon ve FDM ile donatılması fazladan 110 USD lik bir yatırım gerektirmiştir.

4. Sonuç ve Öneriler

Yukarıda detayları verilen 3 farklı TED uygulaması sonucunda elde edilen enerji tasarrufu nedeni ile elde edilen CO₂ salınımindaki azalma hesaplanmıştır. Tablo 1’de her 3 projenin ısıtma ve soğutma kapasiteleri, iklimlendirilen alan, ilk yatırım maliyetleri ve yıllık enerji tasarrufları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Tablo 2’de ise yine 3 TED uygulaması sonucu elde edilen CO₂ salınımindaki elde edilen azalılar farklı fosil yakıt kaynaklarına göre verilmiştir. Bu hesaplama elektrik üretiminde fosil yakıt kullanıldığı varsayılarak yapılmıştır.

Tablo 1. TED ile sağlanan enerji tasarrufu ve ilk yatırım maliyetleri karşılaştırması

Proje	Kapasite (kW)		Alan (m ²)	İlk Yatırım Maliyeti, (USD)	Yıllık Enerji Tasarrufu kWh/m ²
	Isıtma	Soğutma			
Market için ATED	195	74	1400	-	84
Sera için ATED	54	-	360	1440	100
Test Kabini için FDM	2.4	0.7	4	110	119

Tablo 2. TED uygulamalı sonucunda elde edilen enerji tasarrufu nedeni ile farklı yakıt alternatiflerine göre CO₂ emisyonundaki azalmalar.

Yakıt	CO ₂ ton/yıl		
	Kömür	Fuel Oil	Doğal gaz
Süper Market için ATED	113	85	50.3
Sera için ATED	34	26	19

Test Kabini için FDM	0.5	0.4	0.3
----------------------	-----	-----	-----

* Elektrik üretimi için fosil yakıt kullanıldığı zaman

Isıtma ve soğutma bir çok ülkede en fazla enerji harcanan sektörlerden biridir. Bu sektörde kullanılan enerjide elde edilecek tasarruf CO₂ salınımını azaltarak küresel ısınmanın önlenmesine ciddi katkısı olacaktır. TED teknolojileri ısıtma ve soğutma uygulamalarında fosil yakıt sistemlerinin yerine kullanılabilecek esnek çözümler sunmaktadır. Bildiride sunulan 3 proje TED uygulamalarının enerji verimliliğine ve dolayısı ile çevreye olan katkısı sunulmuştur. Ayrıca her üç projede, ilk yatırım maliyetlerinin geri ödeme süreleri 0 ile 3 yıl arasında değişmektedir. Bu sonuç TED teknolojilerinin çok pahalı olmadığını da göstermektedir. Türkiye’de çok geniş uygulama alanları bulabilecek TED uygulamaları sonucunda elektrik ve fosil yakıt tüketiminde elde edilecek tasarruflar ülke ekonomisine ve çevre sağlığına ciddi faydalar sağlayacaktır. Ayrıca yerel yenilenebilir kaynakların iklimlendirme sektöründe devreye sokulması ile enerjide dışa bağımlılığımız azalacaktır. Türkiye Büyük Millet Meclisinin yeni taraf olduğu Kyoto Protokolü uyarınca atmosfere salınımı taahhüt edilen CO₂ emisyon miktarlarını elde etmek için ülke olarak daha verimli ve çevreci teknolojiler geliştirmek zorunluluğu doğmuştur. Kyoto Protokolüne uymak bağlamında TED uygulamalarının geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması önemli bir adım olacaktır.

Teşekkür

Katkılarında dolayı TÜBİTAK’a, Devlet Planlama Teşkilatına (DPT), İZOCAM A.Ş’ye ve Çukurova Üniversitesi Araştırma Fonuna teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Abak, K., Guler, H.Y. and Baytorun, N. (1995) ‘A comparative study in heated and unheated plastic greenhouses of the mediterranean coastal region of Turkey: tomato plant growth, yield dynamics, crop quality and fuel consumption’, Acta Horticulture, Vol. 412, pp.335–341.

Andersson, O. (2006) ‘Ground source heating and cooling – a significant contribution to CO₂ reduction in Sweden’, ECOSTOCK, 10th International Thermal Energy Storage Conference, New Jersey, USA, 31 May–2 June.

ASHRAE, 2001, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Fundamentals, Residential Cooling and Heating Load Calculations, Chap. 28.

Beatty, B., Dince, I. and Bright, K. (2006) 'Canada's largest BTES system – 74000 m borehole field', ECOSTOCK, 10th International Thermal Energy Storage Conference, New Jersey, USA, 31 May–2 June.

Çağla, M. and Altuntaşoğlu, Z.T. (2003) 'Sürdürülebilir Kalkınma ve Yenilenebilir Enerji', 9th Turkish National Energy Congress, İstanbul, 24–27 September, pp.155–166.

Dinçer, İ. and Rosen, M.A. (2002) *Thermal Energy Storage: Systems and Applications*, New York: John Wiley and Sons.

Hawladar, M.N.A., Uddin, M.S. and Khin, M.M. (2003) 'Microencapsulated PCM thermal-energy storage system', *Applied Energy*, Vol. 74, pp.195–202.

Jahns, E. (1999) 'Microencapsulated phase change material', 4th IEA – Workshop Annex 10 Phase Change Materials and Chemical Reactions for Thermal Energy Storage, Germany.

Kabus, F., Seibt, P. and Poppei, J. (2000) 'Aquifer thermal energy stores in Germany', Terrastock 8th International Conference on Thermal Energy Storage, Vol. 1, pp.129–134.

MacCracken, M. (2006) 'Ice thermal storage and LEED Gold', ECOSTOCK, 10th International Thermal Energy Storage Conference, New Jersey, USA, 31 May–2 June.

Özonur, Y., Mazman, M., Paksoy, H.Ö. and Evliya, H. (2006) 'Microencapsulation of coco fatty acid mixture for thermal energy storage with phase change materials', *International Journal of Energy Research*, Vol. 30, No. 10, pp.741–749.

Paksoy, H.Ö. (Ed.) (2007) 'Thermal energy storage for sustainable energy consumption – fundamentals, case studies and design', NATO Science Series, II: Mathematics, Physics and Chemistry, Vol. 234, Springer, ISBN: 10 1-4020-5288.

Paksoy, H.Ö., Gürbüz, Z., Turgut, B., Dikici, D. and Evliya, H. (2004) 'Aquifer Thermal Energy Storage (ATES) for air-conditioning of a supermarket in Turkey', *Renewable Energy*, Vol. 29, pp.1991–1996. CO2 mitigation with thermal energy storage 17

Sakai, H. (2000) 'Application of ice storage system to cold air distribution system', IEA ECES Annex 14 Cooling in all Climates with Thermal Energy Storage Workshop, Tokyo, Japan, 10 November.

Sanner, B. and Stiles, L. (1997) 'Status of seasonal cold storage in ground source heat pump', MEGASTOCK 7th International Thermal Energy Storage Conference, Sapporo, Japan, 18–21 June.

Snijders, A.L. (2006) 'ATES market development in the Netherlands', ECOSTOCK, 10th International Thermal Energy Storage Conference, New Jersey, USA, 31 May–2 June.

Snijders, A.L. and Van Aarssen, M.M. (2003) 'Big is beautiful? Application of large scale energy storage in the Netherlands', FUTURESTOCK 9th International Thermal Energy Storage Conference, Warsaw, Poland, 1–4 September.

Wille, A. and Lottner, V. (2006) 'R&D programme on thermal energy storage in Germany', ECOSTOCK, 10th International Thermal Energy Storage Conference, New Jersey, USA, 31 May–2 June.

Wong, W.P., McClung, J.L., Kokko, J.P. and Snijders, A.L. (2006) 'First large scale solar seasonal BTES in Canada', ECOSTOCK, 10th International Conference on Thermal Energy Storage, Pomona, New Jersey, USA, 31 May–2 June.