

UYGULAMA KONULARI

GÜNEŞ KOLLEKTÖR SİSTEMLERİNİN TEKNİK VE EKONOMİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ VE İSTANBUL, ANKARA VE ADANA İLLERİMİZE ÖRNEK BİR UYGULAMA



Tahir KONAKLIOĞLU
Yeni Enerji Kaynakları Şb.Md.
EİE-ANKARA

1973 yılında İTÜ-Elektrik Fakültesi'nden Meteoroloji Y.Müh. olarak mezun oldu. Aynı yıl Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü'nde göreve başladı. 1978 yılında Baş Mühendis, 1982 yılında Yeni Enerji Kaynakları Şubesi Müdürlüğü'ne atandı. Halen bu görevde bulunmaktadır.

SUMMARY

Optimum solar systems have been designed to meet the fixed hot water demand in selected regions in Turkey. Different solar systems have been simulated using F-chart model to perform systems benefit analyses. The optimizations studies have been performed to determine system economics using Life Cycle Costing method in these studies.

ÖZET

Bu çalışmada belirli miktardaki sıcak su taleplerini güneş enerjisinden karşılayabilecek güneş kollektör sistemlerini optimum tasarımı amacıyla, Türkiye'nin değişik iklim bölgelerinde bazı şehirler seçilmiş ve bu amaca yönelik olarak geliştirilmiş bulunan bir simülasyon modeli ile, seçilen bu şehirler simüle edilerek, teknik açıdan çeşitli sistem tasarımları yapılmıştır. Bu sistemlerin ekonomik açıdan tasarımı amacıyla Life Cycle Costing ekonomik değerlendirme yöntemi kullanılarak değişen teknik ve ekonomik koşullara göre optimum sistem tasarımları gerçekleştirilmiştir.

GİRİŞ

Günümüzde, Ülkemizde de yeterince tanınan ve özellikle batı ve güney illerimizde yaygın olarak kullanılmakta olan güneş kollektörleri yardımıyla, güneş enerjisinden sıcak su elde edilebilmektedir. İdaremizce yapılan son anket çalışması verilerine göre, Ülkemizde güneş kollektörü konusunda faaliyet gösteren firma sayısı 116'dır. Ancak bu rakamın 200 civarında olduğu tahmin edilmektedir [6].

Belirtilen firmalarca üretilmekte olan güneş kollektörleri, çeşitli tür ve özellikte olup farklı malzeme ve teknolojilerle üretilerek piyasaya sürülmektedir. Bu nedenle, Ülkenin herhangi bir yerinde, belirli miktar ve sıcaklıkta talep edilecek sıcak suyu güneşten sağlayabilecek güneş kollektörlerinin sayısı birçok parametreye bağlıdır. Bu parametreler çok genel olarak, kollektörlerin fiziksel özellikleri, tesis yeri güneş enerjisi potansiyeli ile bu potansiyelin zamansal dağılımı ve talebin özel-

likleri (su sıcaklığı ve su miktarı gibi) olarak sıralanabilir. Bu sistemlerin güneşten sağlayacakları sıcak su miktarları belirtilen değişkenler nedeniyle kalitatif ve kantitatif olarak farklılık gösterirler.

Bu nedenle, herhangi bir yörede talep edilen sıcak suyu, güneş enerjisinden karşılayabilecek kollektör sayısının tespiti, gerek sistemin verilen talebi karşılayabilmesi için ve gerekse tesis edilecek sistemin mevcut piyasa koşullarına göre ekonomik olabilmesi için son derece önem arz eder. Gereğinden fazla güneş kollektör tesisi pahalı bir yatırım olabileceği gibi, gereğinden az kollektörün tesisinde ekonomik olabilecek ancak verilen talebi karşılayamayacaktır. Bu nedenle, güneş kollektör sistemlerinin tasarımında, güneş kollektör sayısının teknik açıdan optimizasyonu gereklidir. Ancak bununda ötesinde, teknik açıdan optimum sayıdaki kollektörden oluşan güneş sisteminin, mevcut ekonomik koşullarda ekonomikliliğinin araştırılarak, verilen talebin belirli bir yüzdesini veya tamamını güneşten sağlayabilecek güneş sisteminin tasarımı şarttır. Diğer bir ifadeyle, talep edilen sıcak suyun herhangi bir yörede ve mevcut piyasa ekonomik koşullarında, tamamının güneşten karşılanmasının ekonomik olması durumu her zaman mümkün değildir. Belirtilen koşullarda, talep edilen sıcak su miktarının belirli bir yüzdesi güneşten sağlanırken diğer kısmının konvansiyonel kaynaklardan (back-up) temin edilmesi, tamamının güneşten karşılanmasına kıyasla daha ekonomik olması kuvvetle muhtemeldir. Bu nedenle talep edilen sıcak suyu kısmen güneşten ve kısmende konvansiyonel enerji kaynaklarından minimum maliyetle sağlayabilecek bir sistemin tasarımı bazı temel ve önemli analizleri gerektirir [3].

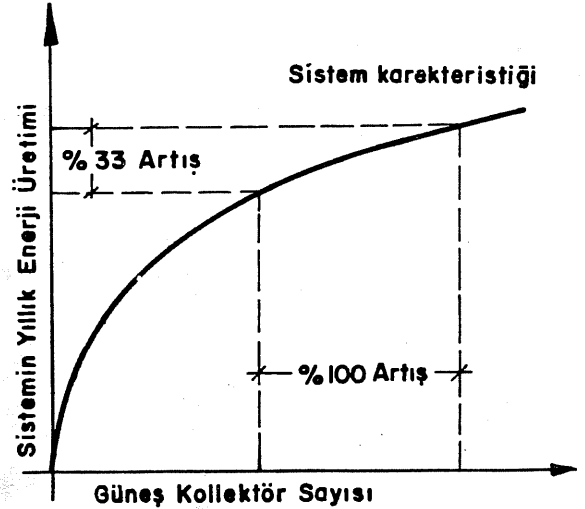
GÜNEŞ ENERJİSİ EKONOMİSİ VE ÖNEMİ

Herhangi bir ısı talebinin güneş enerjisinden sağlanmasının düşünülmesi durumunda, tesis edilecek güneş sistemi tarafından üretilen enerji maliyetinin minimize edilmesi önemlidir.

Güneş sistemleri diğer enerji sistemlerine nazaran önemli ekonomik farklılıklar taşır. Konuya bu perspektiften bakıldığında, güneş sistemlerinde temel yatırımın başlangıçta olmasına karşılık fosil kökenli veya nükleer enerji üretim tesislerinde yatırımın tamamen başlangıçta olmayıp, sistemin ömrü boyunca geniş bir zaman dilimine yayılmakta olduğu görülür [3].

Güneş kollektör sistemlerinin diğer bir özelliğide, diğerlerinden farklı olarak **doğrusal**lık özelliği taşımasıdır. Daha açık bir ifadeyle

le güneş kollektör sistemlerinde, sistemin kurulu gücünün artırıldığı oranda faydasının artmaması özelliği taşımasıdır. Örnek olarak, bir bina üzerine kurulmuş olan bir güneş kollektör sisteminde kollektör sayısı iki katına çıkarılırsa faydası veya enerji üretimi iki katına çıkamaz (Şekil 1) [3].



Şekil 1 Güneş kollektör sistemlerinin kapasite üretim ilişkisi

Gerek belirtilen nedenle ve gerekse dünyamıza gelen güneş enerjisinin mevsimlere göre değişiklik göstermesi dolayısıyla kışın, yaza nazaran daha fazla kollektör gerekmemekte ve yıllık sıcak su talebinin tamamının güneş enerjisinden karşılanması alternatifinin çok pahalı bir alternatif haline getirmektedir.

Genellikle, güneş kollektör sistemleri, verilen bir ısı yükünün (talebin) büyük bir kısmını ama tamamını kapsamayan bir kısmını karşılar. Karşılanmayan kısım ise konvansiyonel kaynaklardan karşılanır [3].

Güneş enerjisi sistemi ile **back-up** sistemi arasındaki belirtilen bu hassas denge ekonomik analiz yöntemleri ile saptanır.

Güneş enerjisi sistemlerinin boyutlandırılmasında kullanılan genel yöntem, güneş sistemi maliyeti ve faydaları hesap edilerek güneş sisteminin kurulu gücü (kollektör sayısı) bir interval olarak denir ve ekonomik olma tespiti olunur. Ancak, güneş sisteminin büyüklüğünün bir interval olarak fayda ve maliyetinin hesap edilmesi, diğer konvansiyonel sistemlere nazaran daha karmaşıktır [3].

Diğer bazı faktörler, bir güneş sistemi dizaynını etkileyebilir. Bazı durumlarda mal

sahibi özellikle ısıtma yükünün belirli bir oranda güneşten sağlanmasını (% 75 veya % 80 gibi) isteyebilir. Bu durumda aşağıda detayları belirtilen optimizasyon çalışmasına gerek kalmaz. Bu durumda sadece sistemin performansının tahmini yapılır.

Serbest piyasada, yakıt fiyatlarında meydana gelecek artışlar, ileriki yıllarda sistemin faydasını etkileyebilir. Nükleer veya fosil kökenli yakıtın maliyetinin artması halinde, güneş sisteminin sağlayacağı tasarruf nedeniyle, güneş sistemi ekonomik olacaktır, azalması halinde ise, doğai olarak güneş sistemi ekonomik olmayacaktır. Bu nedenle, piyasa enerji fiyat artışlarının tahmini, optimum sistemi boyutlandırılmasında önemli değişkenlerdir.

Güneş sistemlerinin dizaynında büyük dikkat sarf edilmelidir. Konvansiyonel sistemlerin dizaynında yapılacak hatalar, daha fazla fosil kökenli yakıtın tüketilmesiyle veya daha fazla elektriğin tüketilmesiyle kompanse edilir. Bu şekilde düşük verimle çalışan bir sistemin mal sahibi tarafından tespit edilmesi zordur. Oysa, güneş sistemi dizaynında yapılacak hata nedeniyle ortaya çıkacak büyük yatırım mal sahibi için önem taşır [3].

GÜNEŞ KOLLEKTÖR SİSTEMİ TASARIMI

Mevcut koşullara göre ekonomik olabilecek bir güneş kollektör sisteminin tasarımı, genel olarak iki temel analizi gerektirir.

1. Tesis yeri koşullarında, sıcak su talebini teknik olarak, güneş enerjisinden tamamen veya kısmen temin edebilecek bir sistemin kollektör sayısının ve alternatiflerinin tespiti.

2. Piyasa ekonomik koşullarında, sıcak su talebini kısmen veya tamamen güneşten karşılayacak güneş kollektör sisteminin ekonomik analiz yöntemleri ile tespiti (yukarıda verilen alternatif sistemleri arasında ekonomik olanın seçimi).

Birinci maddede belirtilen analizi yapabilecek nitelikte ve temeli **F-Chart Yöntemi**'ne dayalı bir simülasyon modeli geliştirilmiştir [1].

İkinci maddede belirtilen ekonomik analiz, geliştirilen ve temeli **Life Cycle Costing** ekonomik analiz yöntemine dayalı bir bilgisayar programı yardımıyla değişen ekonomik koşullara göre iteratif olarak yapılabilmektedir.

SİMÜLASYON MODELİ

Verilen bir coğrafi bölgede, belirli sayıda

kollektörden oluşan güneş sisteminin, tesis yeri çevre koşullarında, aylık ve yıllık olarak üretilen enerji miktarını tespit edebilen ve temeli **F-Chart** yöntemine dayalı bir simülasyon modeli bu amaç için geliştirilmiştir [1].

F-Chart yönteminin yapısal özelliği nedeniyle, simülasyon modeli, cebri sirkülasyonlu kapalı devre güneş kollektör sistemlerini modelleyebilmektedir [3].

Simülasyon modeli genel olarak, belirli çevre ve atmosferik koşullar altında, fiziksel özellikleri bilinen güneş kollektör sisteminin güneş enerjisinden aylık bazda ve uzun dönemde sağlayabileceği ortalama enerji miktarını tespit ederek, üretilen bu enerjinin yıllık talebi karşılama oranını tespit edebilmektedir.

Simülasyon modellerinin bilinen kullanımı kolaylıkları nedeniyle farklı kollektör sayılarından oluşan çeşitli özellikte güneş kollektör sistemlerinin üretimi konusunda, değişik senaryolar kolaylıkla denenebilmektedir [1].

Böylece sistem tasarımı aşamasında, karar vericiye, alternatif kollektör sistemleri konusunda bilgi sağlanarak, sağlıklı bir ekonomik analiz için gerekli temel bilgiler temin edilmiş olmaktadır.

FARKLI COĞRAFİ BÖLGELERE ÖRNEK UYGULAMA

Ülkemizin herhangi bir coğrafi bölgesinde talep edilecek belirli bir miktardaki sıcak su miktarını, değişen piyasa ekonomik koşullarına göre ekonomik olarak, güneş enerjisinden temin edilecek güneş sistemini tespit amacıyla, 3 ayrı coğrafi bölgeden seçilen birer yerleşim merkezini kapsayan örnek bir uygulama yapılmıştır.

Örnek uygulama için seçilmiş bulunan İstanbul, Ankara ve Adana illerinde talep edilebilecek değişik miktarlardaki sıcak su taleplerini, bu şehirlerdeki güneş enerjisi potansiyeli ve çevre şartları göz önüne alınarak, mevcut ekonomik koşullara göre, ekonomik olarak güneş enerjisinden sağlayabilecek güneş sistemlerinin tasarımları yapılmıştır.

Seçilen her uygulama bölgesinde, sıcak su talebinin; 80-400 lt/gün (kişi başına 40 lt/gün hesabıyla, kişinin sıcak su talepleri olarak tespit edilmiştir) olduğu varsayılmıştır.

Bu talepleri, belirtilen bölgedeki çevre koşulları (güneş radyasyonu, çevre sıcaklığı, su sıcaklığı, Tablo 2) altında teknik olarak, tamamen veya kısmen karşılayabilecek güneş kol-

lektör alanları (m^2) tespit edilmiş ve daha sonra ekonomik analiz yöntemleri ile, her talebi ekonomik olarak karşılayabilecek kollektör alanı belirlenmiştir. Daha açık bir ifadeyle, yukarıda belirtilmiş bulunan sıcak su taleplerini, İstanbul, Adana, Ankara çevre şartlarında fiziksel olarak karşılayabilecek kadar yeterli sayıda kollektör alanlarına sahip çeşitli alternatif güneş sistemleri simülasyon modeli yardımıyla belirlenmiş ve daha sonra bu alternatif güneş sistemleri kümesi içersinde, piyasa koşullarına göre en ekonomik olanı ekonomik analiz yöntemleri ile tespit olunmuştur (Tablo 1).

İstanbul için verilmiş tablo incelendiğinde görülebileceği gibi, İstanbul çevre koşullarında çeşitli toplam alana sahip güneş kollektör sistemlerinin, belirtilen taleplerin ne kadarlık bir yüzdesini karşılayabileceği verilmiştir.

Örnek olarak, 120 lt/gün miktarındaki sıcak su talebinin sadece 2 m^2 büyüklüğündeki kollektör ile % 42'si, 3 m^2 kollektör ile % 55, 4 m^2 kollektör ile 0.63 vs karşılanabilir olduğu görülmektedir (Tablo 1).

Diğer bir ifadeyle 120 lt/gün miktarındaki sıcak su talebi İstanbul'da 2 m^2 kollektör tesis

edilerek yıllık talebin % 34'ü 11 m^2 kollektör tesis ederek yıllık talebin % 94'lük bölümü güneşten teknik olarak sağlanabilir olduğunu göstermektedir. 120 lt/gün'lük talep için verilen bu açıklama diğer talepler içinde tekrarlanabilir.

Tablodan da açıkça görülebileceği gibi, bu aşamada, 120 lt/gün miktarlık talebin belirli oranda güneşten sağlayabilecek kollektör alanları verilmekte ancak, bu seçeneklerden hangisinin mevcut ekonomik koşullara göre daha ekonomik olduğu bilinmemektedir. Çalışmanın ikinci aşamasında bu seçeneklerden en ekonomik olanların tespiti yapılacaktır.

Güneş Kollektörleri İle İlgili Kabuller

Güneş kollektör sistem türü olarak, F-Chart yönteminin temel prensibi nedeniyle, kapalı sistem-cebri sirkülasyonlu tür sistem seçilmiştir.

Kollektör türü olarakta, Tek Camlı düzlemsel kollektörleri seçilmiştir.

Ekonomik Kabuller

Ekonomik analizde kullanılmış olan ekonomik kabuller aşağıda verilmiştir.

Kabuller

Kollektör Eğim Açıları: İstanbul	41°
Ankara	40°
Adana	37°

$F_R U_L$	= 5.00 Kcal/ m^2 h.c°
F_R^1/F_R	= 0.92
$F_R(\tau\alpha)_n$	= 0.70
ρ	= 0.20 (yer yansıtma katsayısı)
$\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n}$	= 0.9 olarak seçilmiştir

Ekonomik Kabuller

Güneş Sistemi Ekonomik Ömrü (Yıl)	5, 10, 15, 20
Piyasa Yıllık Faiz Oranı (%)	45, 50, 55, 60
Yardımcı Sistem Yakıt Fiyatı (TL/1000 Kcal)	30, 40, 50, 60
Piyasa Yakıt Fiyatı Artış Oranı (Yıllık)(%)	40
Güneş Sistemi Sabit Yatırım (TL)	200.000.-
Kollektör Birim Maliyeti (TL/ m^2)	60.000.-
Depo Birim Maliyeti (TL/Litre)	250.-

EKONOMİK ANALİZ

Önceki bölümde verilmiş olan (Tablo 1)'in farklı günlük taleplerin değişik kollektör alanları ile karşılanmak istenmesi halinde güneşten karşılanabilecek oranlar (güneşten sağlanacak enerji/toplam talep) yani faydalanma oranları (F_s) verilmiştir. Diğer bir ifadeyle, **Talep-Kollektör Alanı-Faydalanma Oranları** ilişkisinde seçilecek her sıcak su talebini, farklı farklı oranlarda güneş enerjisinden teknik olarak karşılayabilecek çeşitli güneş kollektör alanlarına sahip alternatif güneş sistemleri (Tablo 1)'de verilmiştir. Verilen bu seçenekler kümesinden, hangi alternatif güneş sisteminin, mevcut piyasa ekonomik koşullarında daha ekonomik olduğunu kestirmek mümkün değildir. Örnek olarak İstanbul için, 400 lt/gün sıcak su talebini 2 m² toplam alana sahip kollektör sistemi tesis edip, talebin %16'sını güneşten geriye kalan %84'ünü mevcut enerji sistemlerinden karşılamak mı, ya da 10 m² kollektör tesis edip talebin %75'ini güneşten kalan %25'i mevcut kaynaklardan karşılamak mı daha ekonomik olduğunu ilk bakışta tespit etmek mümkün değildir. Bunun temel nedeni, en ekonomik seçeneğin piyasa ekonomik koşullarına bağımlı olarak değişiyor olmasıdır. Diğer bir ifadeyle, serbest piyasadaki ekonomik koşullar (piyasa faiz ve enflasyon oranı, giderleri vs.) değişiyorsa, yukarıda verilen örnekte; 400 lt/gün miktarındaki sıcak su talebinin ekonomik olarak güneşten karşılanması için tesis edilmesi gereken kollektör alanı da değişir. Yani ekonomik olabilecek seçenek, piyasa ekonomik koşullarına doğrudan bağımlıdır. Ekonomik seçenek, piyasa ekonomik şartları değiştiçe değişir.

Ekonomik Seçenek, verilen sıcak su talebinin tesis yeri çevre şartlarında, kısmen güneşten ve kısmen mevcut konvansiyonel enerji kaynaklarından veya herhangi birinden tamamen sağlanabilecek en ucuz seçenek anlamında kullanılmaktadır. Diğer bir ifadeyle, minimum yatırım maliyeti gerektirecek bir sistem olarak düşünülmelidir.

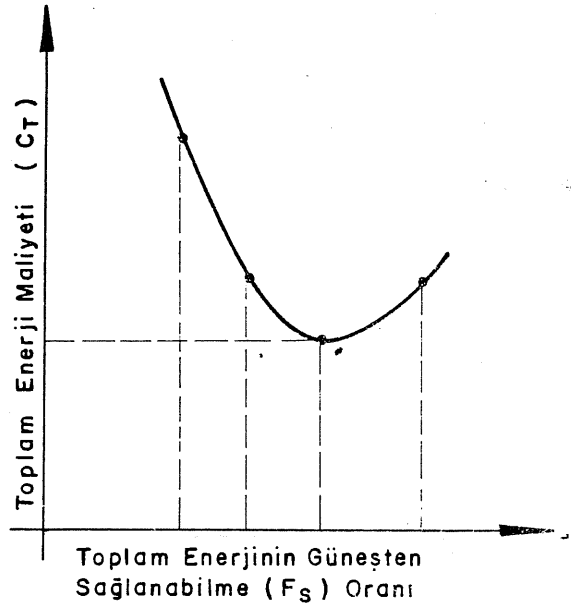
Bir anlamda maliyet minimizasyonu olarak tanımlayabileceğimiz bu analizin, geliştirilebilecek olan ve amaç fonksiyonu sistem maliyetini minimize edecek şekilde belirlenmiş olan, optimizasyon modelleri ile yapılabilmektedir. Bu çalışmada bu tür optimizasyon modelleri yerine, simülasyon modelinin tercih edilmesinin temel nedeni ise daha basit olmasıdır.

Tablo 1'de verilmiş olan seçenekler kümesinden, verilen talebi karşılayabilecek olan eko-

nomik sistemin belirlenmesinde kullanılmış olan analiz yönteminin temelini **Life-Cycle Costing (LCC)** analizi oluşturmaktadır.

Tablo 1'den görülebileceği gibi belirtilen değişik miktarlardaki sıcak su talebini farklı oranlarda ve farklı kollektör alanları ile güneşten karşılamaktadır. Ancak bu seçeneklerden hangisinin mevcut piyasa ekonomik koşullarına göre daha ekonomik olacağı bilinmemektedir. Söz konusu tablo da verilmiş bulunan tüm alternatiflerden piyasanın değişik ekonomik koşullarına göre ekonomik olabilecek alternatiflerin tespiti amacıyla 64 adet değişik senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryolar, dört değişik kollektör ömrüne, dört değişik yardımcı sistem yakıt maliyetine ve dört farklı piyasa faiz oranına göre belirlenmiştir. Her senaryoya göre ekonomik analiz yapılmış ve değişik piyasa ekonomik koşullarında, ekonomik olabilecek güneş kollektör sistemleri tespit olunmuştur.

Tablo 1'de verilmiş olan simülasyon modeli sonuçları, diğer bir ifadeyle alternatif güneş sistemlerinin değişik C_s ve C_y (güneş enerjisi ve yardımcı sistem yakıt maliyeti) değerlerine ve farklı piyasa enflasyon ve faiz oranlarına göre ekonomik analizi yapılmıştır. Bu değişkenleri göre elde edilmiş bulunan C_T değerleri (toplam maliyet) F_s değerlerine (Tablo 1) karşılık noktalandığında C_T min. değerini veren F_s değeri her talep için optimum olarak belirlenmiş olmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2 C_T - F_s ilişkisi

Alternatif kollektör sistemlerinin herbiri için bulunan C_T değerlerinden min. C_T değerine karşılık gelen F_s ve buna karşılık gelen kollektör alanı (güneş sistemi) Tablo 1'den bulunur. Böylece talebi ekonomik olarak (belirli oranda) karşılayacak güneş kollektör sistemi belirlenmiş olmaktadır [3].

İSTANBUL, ANKARA ve ADANA İÇİN TESBİT OLUNAN SENARYOLAR VE ANALİZLERİ

Simülasyon modeli ile tespit olunan ve değişen sıcak su taleplerini karşılayacak alternatif güneş sistemlerini ve bunların talebi karşılama oranlarını kapsayan (Tablo 1) değerleri, LCC ekonomik değerlendirme yöntemi ile aşağıda belirtilen ekonomik parametreler değiştirilerek elde olunan değişik senaryolara göre analiz edilmiş ve C_T değerleri, hesap edilmiştir.

- Piyasa efektif faiz oranı
- Güneş sistemi fiziksel ömrü
- Back-up (yard. sistem) birim yakıt maliyeti

Bu değişkenler yardımıyla her bir il için belirlenen 64 adet senaryo, özellikleri belirtilen ekonomik analiz yöntemi ile ve verilmiş olan kabullere göre analiz edilerek farklı ekonomik koşullarda talebi belirli oranda karşılayabilecek en ekonomik (min. maliyetli) güneş kollektör sistemi ve bu sistemin sağlayacağı enerji tasarrufu oranı (faydalanma oranı) tespit edilmiştir (Şekil 3-11).

Sadece İstanbul için verilmiş bulunan (Şekil 3-11), Tablo 1'de verilmiş bulunan değerlerin noktalanmış halini göstermektedir. Ancak grafikte üzerine çizilmiş taralı alanlar ve noktalı çizgiler ise, her bir senaryonun, ekonomik analiz sonucunda tespit olunan, ekonomik olarak seçilebilecek kollektör alanlarını ve bunların talebi karşılama oranlarını göstermektedir.

Örnek olarak; 9 numaralı şekil, senaryolardan 49-52 numaralı olanlarının (Tablo 3) İstanbul için sonuçlarını göstermektedir. Belirtilen bu dört senaryo aşağıdaki şekilde tespit olunmuştur.

Belirtilen 49, 50, 51, 52 no.lu senaryolar için yapılan ekonomik analiz sonuçları Şekil 9'da taralı alanlarla gösterilmiştir. Taralı alanların anlamını şu şekilde ifade etmek mümkündür: 49 numaralı senaryoda (yakıt 30 TL) güneş sisteminin tesisi, belirtilen taralı alan sınırları içerisinde ekonomiktir. Diğer bir ifadeyle, İstanbul'da belirtilen piyasa şartlarında, sadece 240, 280, 320, 360 ve 400 lt/gün miktarlarında sıcak su taleplerinin % 28-32 oranlarındaki kısmı $3-4 \text{ m}^2$ kollektör kurarak güneşten sağlanması ekonomiktir. Eğer yardımcı sistem yakıt fiyatı 40 TL/1000 kcal ise, bu durumda (senaryo 50) 160, 200, 240, 280, 320, 360, 400 lt taleplerin yaklaşık % 35-45 oranındaki kısımları $2-7 \text{ m}^2$ kollektörler güneşten temin edilmesi, eğer yardımcı sistem yakıt fiyatı 50 TL ise, (senaryo 51) aynı miktardaki taleplerin % 45-50 oranındaki kısımları $3-8 \text{ m}^2$ kollektör ile, eğer yardımcı sistem yakıt fiyatı 60 TL ise (senaryo 52) bununda 120-400 TL arasındaki tüm taleplerin % 50-58 oranındaki kısımlarının $3-11 \text{ m}^2$ kollektör ile güneş enerjisinden sağlanması mevcut piyasa şartlarına göre ekonomik olacaktır.

Bu örnek diğer şekiller/senaryolar içinde benzer şekilde genişletilebilir.

3'den 11'e kadar olan şekiller, sadece 44 adet senaryonun sonuçlarını kapsamaktadır (Tablo 3).

Bu şekillerden çıkarılan sonuçlar tabloya dökülerek Tablo 3 elde edilmiştir.

Tablo 3 (Özet) Örnek Senaryo

İSTANBUL

Senaryo	Güneş Kol. Sisteminin Ömrü (Yıl)	Piyasa Yıllık Faiz Oranı (%)	Yardımcı Sistem Yakıt Maliyeti TL/1000 Kcal
49	20	45	30
50	20	45	40
51	20	45	50
52	20	45	60

SONUÇ

Tablo 3'de verilmiş bulunan 64 adet senaryo ve sonuçları incelendiğinde aşağıdaki sonuçları çıkarmak mümkündür.

1. Güneş kolektör sistemlerinin ekonomik olarak kullanılabilmesi durumu, tesis yerindeki meteorolojik şartlara, piyasa ekonomik koşullarına ve güneş sistemi fiziksel özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Diğer bir ifadeyle güneş kolektör sistemleri her zaman her yerde ve her koşulda ekonomik olamamaktadır.

2. Örnek olarak verilmiş olan üç ilde (İstanbul, Adana, Ankara) güneş sistemi hiçbir senaryoda talebin % 100'ünü yani tamamını güneşten üretmektedir. Diğer bir ifadeyle talebin tamamının güneşten sağlanması ekonomik bir seçenek olmamaktadır. Tablodan görülebileceği gibi, güneşten ekonomik olarak sağlanabilecek sıcak su miktarı, talebin % 70'lik bölümünü geçmemektedir.

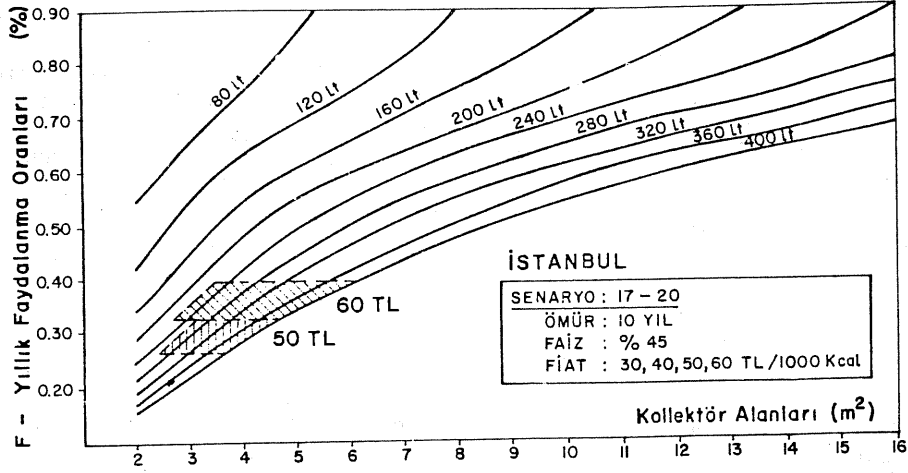
3. Tesis edilmesi düşünülen güneş kolektörlerinin ömrü 5 yıl olması halinde de, seçilmiş bulunan 3 ilde ve hiçbir senaryoda, güneş sistemi ekonomik bir seçenek olmamaktadır. Diğer bir ifadeyle, yardımcı sistemin yakıt maliyetleri 60 TL/1000 kcal ve piyasa faiz oranı % 45 oranına dahi düşse, güneş sistemi ekonomik olamamaktadır.

4. İstanbul ilinin (Florya) uzun yıllar güneş ışınlam şiddetinin 2774 kcal/m^2 gün, An-

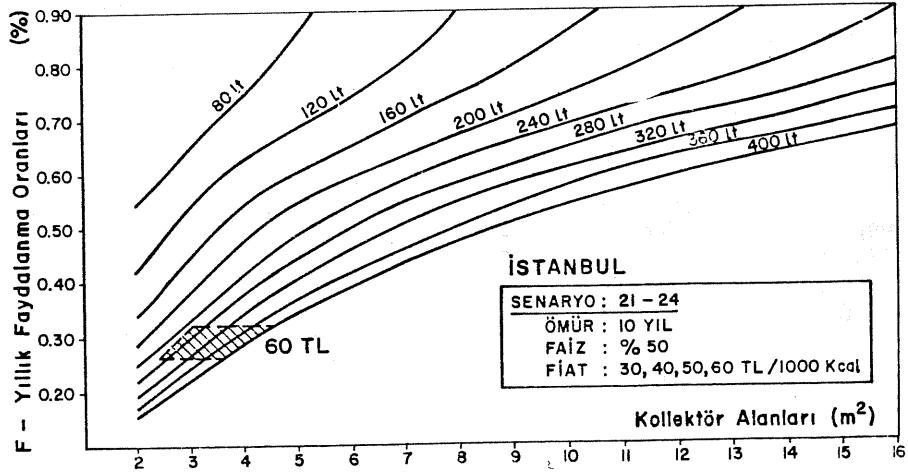
kara'nın 3085 ve Adana'nın 3255 kcal/m^2 gün olduğu ve Tablo 6'da verilen güneşten sağlanan sıcak su miktarının talebi karşılama oranlarının İstanbul'dan Adana'ya inildikçe arttığı göz önüne alınırsa, tesis yeri güneş enerjisi potansiyeli arttıkça, güneşten sağlanan sıcak su oranlarında artmakta olduğu sonucu çıkarılabilir. Örnek olarak, İstanbul için ekonomik olmayan bir senaryo, Ankara ve/veya Adana için ekonomik olabilir (Tablo 3, senaryo 33, 24, 28, 30, 38, 43, 59).

KAYNAKLAR

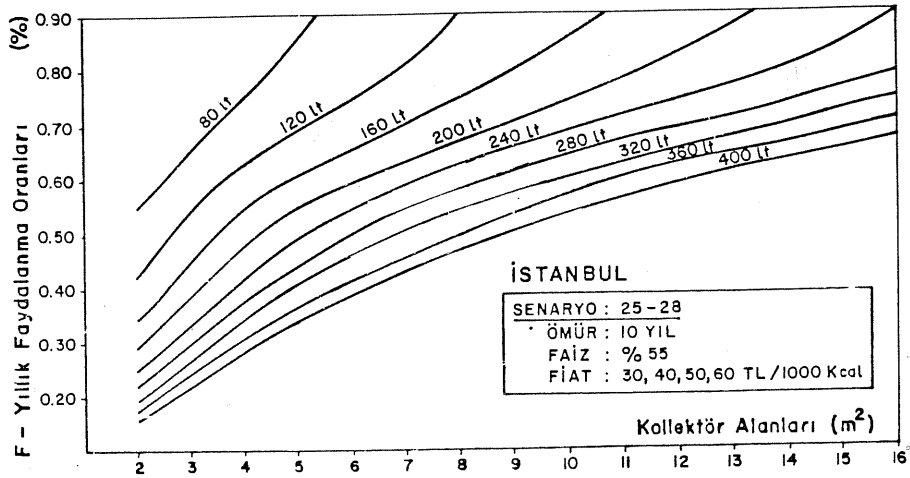
1. Konakçıoğlu, T., Temiz, A., Gündoğan, Y., "Güneş Kolektör Sistemlerinin Ekonomik Analizi ve Optimum Tesis Kapasitesinin Tespiti", EİE, Bülteni, Haz. 87, No:130.
2. Duffie, J.A., "Solar Energy Thermal Processes", William A. Beckman 1984.
3. Kreider, J.F., "Solar Heating and Cooling", Frank Kreith, 1977
4. Beckman, W.A., Klein, S.A. and Duffie, J.A., "Solar Heating Design"
5. Howell, Y., Berony, A., "Engineer's Guide to Solar Energy", USA.
6. "1987 Yılı Güneş Kolektör Üretimleri Anket Sonuçları", EİE-1988 (Henüz Basılmamıştır).



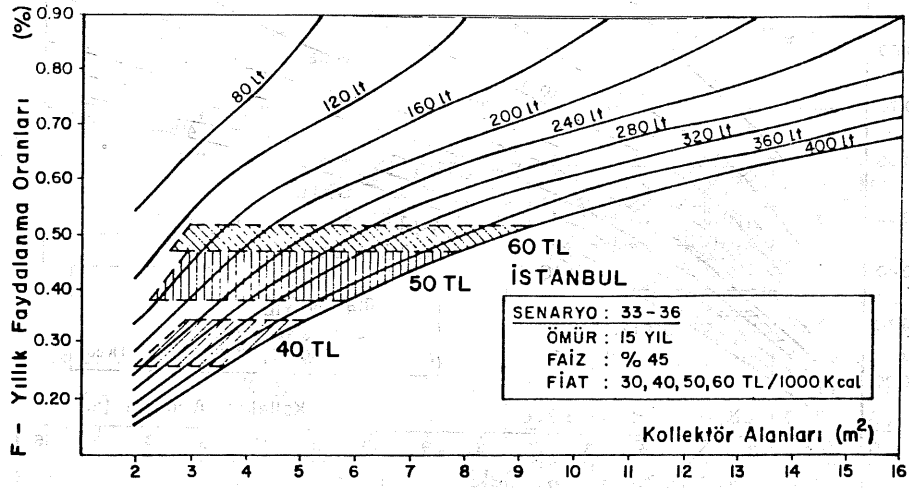
Şekil 3



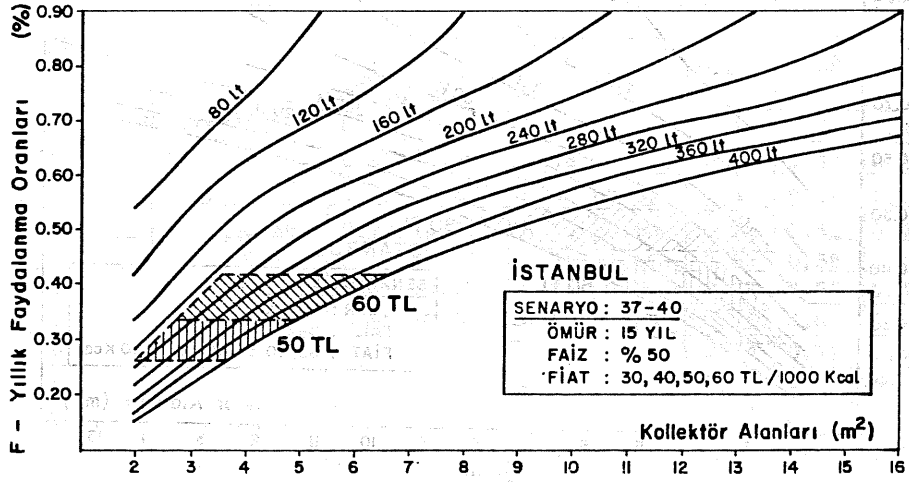
Şekil 4



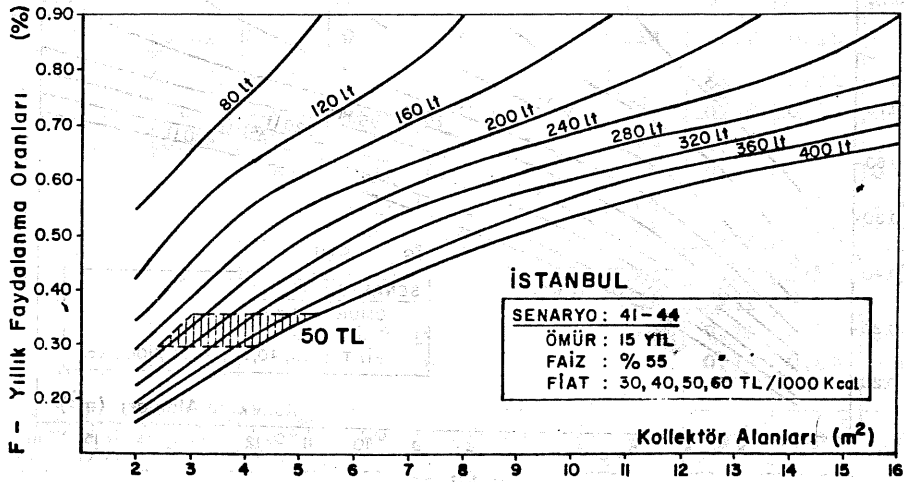
Şekil 5



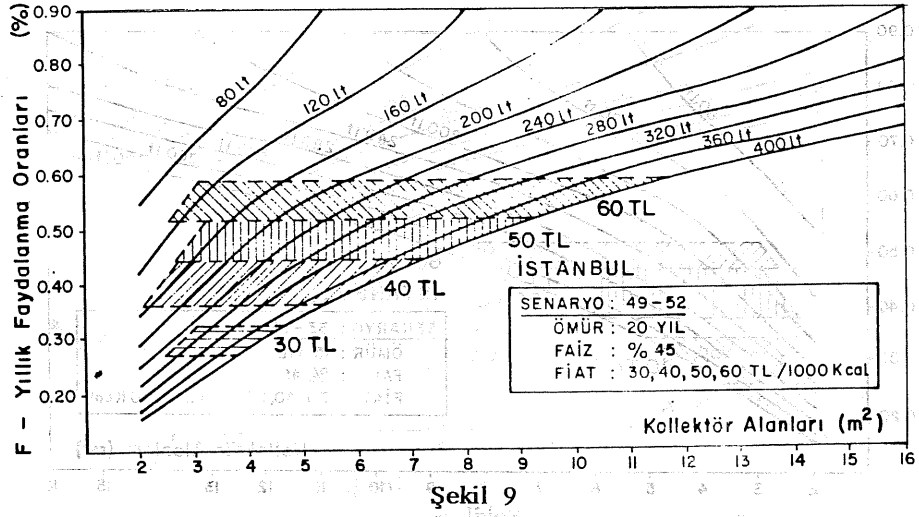
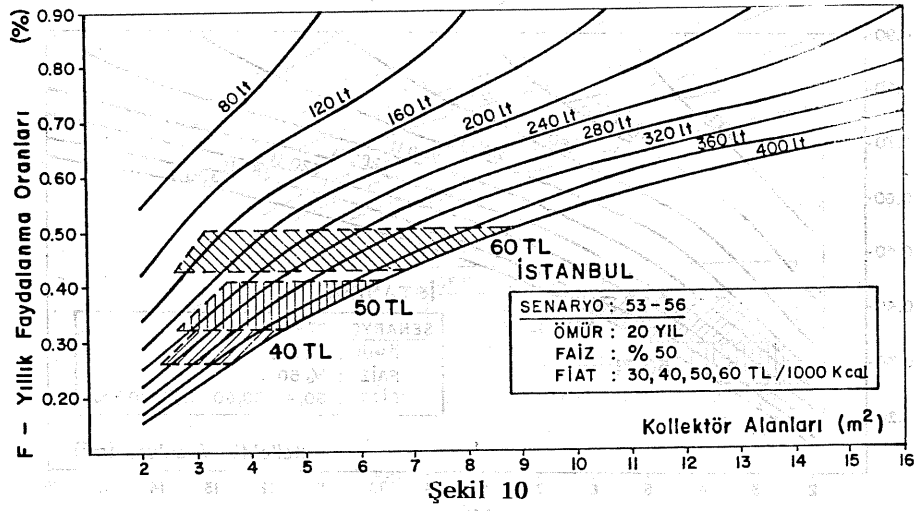
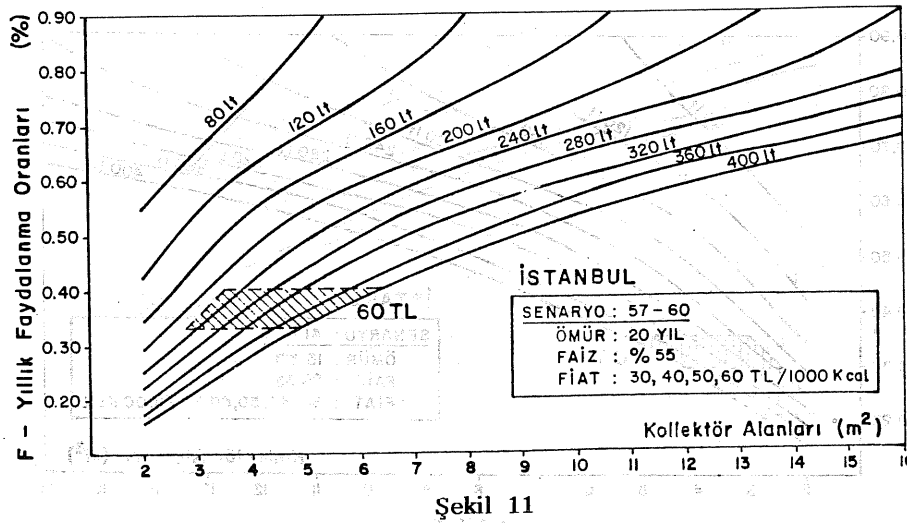
Şekil 6



Şekil 7



Şekil 8



Tablo 1 Güneş kolektör alanı-talep-faydalanma oranı F_S ilişkisi
(Simülasyon sonuçları)

İL	KOLLEKTÖR ALANI	GÜNLÜK TALEP LT / GÜN								
	m ²	80	120	160	200	240	280	320	360	400
İSTANBUL	2	0,55	0,42	0,34	0,29	0,25	0,22	0,19	0,17	0,16
	3	0,66	0,55	0,46	0,39	0,34	0,30	0,27	0,25	0,23
	4	0,75	0,63	0,55	0,48	0,42	0,38	0,34	0,31	0,29
	5	0,86	0,69	0,61	0,55	0,49	0,44	0,41	0,37	0,34
	6		0,75	0,66	0,60	0,55	0,50	0,48	0,42	0,39
	7		0,81	0,71	0,64	0,59	0,55	0,51	0,47	0,44
	8		0,91	0,75	0,68	0,63	0,59	0,55	0,51	0,48
	9			0,80	0,71	0,66	0,62	0,58	0,55	0,51
	10			0,86	0,75	0,69	0,65	0,61	0,58	0,55
	11			0,94	0,79	0,72	0,68	0,64	0,61	0,57
	12				0,83	0,75	0,70	0,66	0,63	0,60
	TOPLAM ISI TALEBİ (Kcal/yıl)	891128	1486892	1982256	2477820	2973384	3468948	3964512	4460076	4955640
A DANA	2	0,71	0,58	0,48	0,41	0,35	0,31	0,28	0,25	0,23
	3	0,82	0,71	0,62	0,54	0,48	0,43	0,29	0,35	0,32
	4	0,95	0,79	0,71	0,64	0,58	0,52	0,48	0,44	0,41
	5		0,86	0,77	0,71	0,65	0,60	0,55	0,51	0,48
	6		0,95	0,82	0,76	0,71	0,66	0,62	0,58	0,54
	7			0,88	0,80	0,75	0,71	0,67	0,63	0,59
	8			0,95	0,84	0,79	0,75	0,71	0,67	0,64
	9				0,89	0,82	0,78	0,74	0,71	0,68
	10				0,95	0,86	0,81	0,77	0,74	0,71
	11					0,90	0,84	0,80	0,77	0,74
	12					0,95	0,87	0,82	0,79	0,76
	TOPLAM ISI TALEBİ (Kcal/yıl)	833632	1257948	1677264	2096580	2515896	2935212	3354528	3773844	4193160
ANKARA	2	0,61	0,47	0,38	0,32	0,28	0,24	0,22	0,19	0,18
	3	0,73	0,61	0,51	0,44	0,38	0,34	0,30	0,28	0,25
	4	0,81	0,69	0,61	0,53	0,47	0,42	0,38	0,35	0,32
	5	0,91	0,76	0,67	0,61	0,55	0,49	0,45	0,41	0,38
	6		0,81	0,73	0,66	0,61	0,55	0,51	0,47	0,44
	7		0,87	0,77	0,71	0,65	0,61	0,56	0,52	0,49
	8		0,96	0,81	0,74	0,69	0,65	0,61	0,57	0,53
	9			0,85	0,78	0,73	0,68	0,64	0,61	0,57
	10			0,91	0,81	0,76	0,71	0,67	0,64	0,61
	11			0,99	0,84	0,78	0,74	0,70	0,67	0,64
	12				0,88	0,81	0,76	0,73	0,69	0,66
	TOPLAM ISI TALEBİ (Kcal/yıl)	1033520	1550280	2067040	2583800	3100560	3617320	4134080	4650840	5167600

Tablo 2 Tesis yerleri

AYLIK ORTALAMA ÇEVRE ŞARTLARI

TESİS YERİ	AYLAR		OCAK	ŞUBAT	MART	NİSAN	MAYIS	HAZİRAN	TEMMUZ	AĞUSTOS	EYLÜL	EKİM	KASIM	ARALIK
	ÇEVRE ŞARTLARI													
İSTANBUL (FLORYA)	GÜNEŞ ISINIM ŞİDDETİ (Kcal/m ² -gün)		1160	1500	2180	3120	3980	4680	4620	4140	3330	2080	1420	1080
	ATMOSFER SICAKLIĞI (C°)		5.1	5.5	6.7	10.9	15.8	20.6	23.2	23.3	19.7	15.5	11.9	8.0
	TOPRAK SICAKLIĞI (C°) (*)		10.2	9.0	9.5	11.8	15.4	19.2	21.9	22.9	22.4	19.8	16.9	13.2
ANKARA	GÜNEŞ ISINIM ŞİDDETİ (Kcal/m ² -gün)		1410	1830	2620	3720	4240	5090	4900	4390	3480	2420	1750	1170
	ATMOSFER SICAKLIĞI (C°)		0.3	1.0	4.7	11.2	16.1	20.0	23.1	23.3	18.4	12.9	7.7	2.5
	TOPRAK SICAKLIĞI (C°) (*)		8.2	6.6	7.8	10.7	14.5	18.0	20.9	22.8	21.6	18.1	14.6	10.9
ADANA	GÜNEŞ ISINIM ŞİDDETİ (Kcal/m ² -gün)		1650	2150	2700	3500	4610	5020	4980	4670	3660	2670	1960	1490
	ATMOSFER SICAKLIĞI (C°)		9.3	10.3	12.9	17.0	21.3	25.1	27.6	28.1	25.2	20.8	15.7	11.1
	TOPRAK SICAKLIĞI (C°) (*)		14.5	13.4	15.1	17.4	20.7	24.3	27.3	29.0	28.6	25.9	21.2	17.4

* DMI- 100 cm Toprak sıcaklığı kayıtları, güneş kollektör sistemleri giriş suyu sıcaklığı olarak alınmıştır.

Tablo 3

SENARYO NO	SİSTEMİN FİZİKSEL ÖMRÜ	PİYASA FAİZ ORANI (YILLIK)	YARDIMCI SİSTEM YAKIT MALİYETİ	YILLIK ORTALAMA FAYDALANMA ORANLARI			SİSTEMİN FİZİKSEL ÖMRÜ	PİYASA FAİZ ORANI (YILLIK)	YARDIMCI SİSTEM YAKIT MALİYETİ	YILLIK ORTALAMA FAYDALANMA ORANLARI		
				İSTANBUL	ADANA	ANKARA				İSTANBUL	ADANA	ANKARA
1	5	45	30	EKONOMİK DEĞİL	EKONOMİK DEĞİL	EKONOMİK DEĞİL	10	45	TL/1000 Kcal	EKONOMİK DEĞİL	EKONOMİK DEĞİL	EKONOMİK DEĞİL
2			40	"	"	"				"	"	"
3			50	"	"	"				0.25-0.35	0.40-0.49	0.32-0.42
4			60	"	"	"				0.45-0.49	0.49-0.50	0.42-0.50
5	5	50	30	EKONOMİK DEĞİL	EKONOMİK DEĞİL	EKONOMİK DEĞİL		50	30	EKONOMİK DEĞİL	EKONOMİK DEĞİL	EKONOMİK DEĞİL
6			40	"	"	"			40	"	"	"
7			50	"	"	"			50	"	0.34-0.41	"
8			60	"	"	"			60	0.25-0.32	0.41-0.50	0.32-0.45
9	55	55	30	EKONOMİK DEĞİL	EKONOMİK DEĞİL	EKONOMİK DEĞİL		55	30	EKONOMİK DEĞİL	EKONOMİK DEĞİL	EKONOMİK DEĞİL
10			40	"	"	"			40	"	"	"
11			50	"	"	"			50	"	"	"
12			60	"	"	"			60	"	0.35-0.40	0.28-0.35
13	60	60	30	EKONOMİK DEĞİL	EKONOMİK DEĞİL	EKONOMİK DEĞİL		60	30	EKONOMİK DEĞİL	EKONOMİK DEĞİL	EKONOMİK DEĞİL
14			40	"	"	"			40	"	"	"
15			50	"	"	"			50	"	"	"
16			60	"	"	"			60	"	"	"

Tablo 3 (Devamı)

SENARYO NO	SİSTEMİN FİZİKSEL ÖMRÜ	PIYASA FAİZ ORANI (YILLIK)	YARDIMCI SİSTEM YAKIT MALİYETİ	YILLIK ORTALAMA FAYDALANMA ORANLARI			SENARYO NO	SİSTEMİN FİZİKSEL ÖMRÜ	PIYASA FAİZ ORANI (YILLIK)	YARDIMCI SİSTEM YAKIT MALİYETİ	YILLIK ORTALAMA FAYDALANMA ORANLARI		
				İSTANBUL	ADANA	ANKARA					İSTANBUL	ADANA	ANKARA
	YIL	%	TL/1000 Kcal					YIL	%	TL/1000 Kcal			
33	45	45	30	EKONOMİK DEĞİL	0.33-0.40	EKONOMİK DEĞİL	49	20	45	30	0.27-0.32	0.40-0.49	0.35-0.43
34			40	0.28-0.35	0.40-0.50	0.32-0.42	50			40	0.35-0.45	0.50-0.59	0.50-0.55
35			50	0.38-0.48	0.52-0.60	0.47-0.57	51			50	0.45-0.52	0.59-0.65	0.55-0.62
36			60	0.49-0.52	0.60-0.66	0.61	52			60	0.52-0.58	0.65-0.70	0.65
37	50	50	30	EKONOMİK DEĞİL	EKONOMİK DEĞİL	EKONOMİK DEĞİL	53		50	30	EKONOMİK DEĞİL	EKONOMİK DEĞİL	EKONOMİK DEĞİL
38			40	EKONOMİK DEĞİL	0.35-0.41	0.27-0.34	54			40	0.25-0.32	0.40-0.49	0.32-0.42
39			50	0.27-0.34	0.41-0.50	0.35-0.47	55			50	0.32-0.40	0.49-0.58	0.42-0.54
40			60	0.35-0.40	0.52-0.58	0.47-0.55	56			60	0.42-0.50	0.58-0.66	0.60
41	55	55	30	EKONOMİK DEĞİL	EKONOMİK DEĞİL	EKONOMİK DEĞİL	57	30	55	30	EKONOMİK DEĞİL	EKONOMİK DEĞİL	EKONOMİK DEĞİL
42			40	"	"	"	58			40	"	"	"
43			50	"	0.34-0.40	0.27-0.35	59			50	"	0.41-0.49	0.28-0.38
44			60	0.30-0.35	0.40-0.48	0.35-0.45	60			60	0.34-0.40	0.49-0.58	0.42-0.50
45	60	60	30	EKONOMİK DEĞİL	EKONOMİK DEĞİL	EKONOMİK DEĞİL	61		30	30	EKONOMİK DEĞİL	EKONOMİK DEĞİL	EKONOMİK DEĞİL
46			40	"	"	"	62			40	"	"	"
47			50	"	"	"	63			50	"	"	"
48			60	"	"	"	64			60	"	"	"