

MARMARA ÜNİVERSİTESİ - FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜNEŞ ISI SİSTEMLERİNDE

OPTİMAL KONTROL PROBLEMİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Ferdi Boynak

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih :

Tez Savunmasının Yapıldığı Tarih :

Tezi Yöneten Öğretim Üyesi : Prof. Dr. Atıf Ural

Diğer Jüri Üyeleri :

İ S T A N B U L ŞUBAT-1986

T E Ő E K K Ü R . E D E R İ M

Çalışmamın hazırlanması süresince hoşgörü, destek ve katkılarını esirgemeyen danışman hocam, Sayın Prof. Dr. Atif Ural'a, yararlı yardımlarından dolayı arkadaşım araştırma görevlisi Müh. Mürvet Kirci'ya, çalışmayı bir an önce bitirmem için yararlı uyarılarda bulunan Sayın Doç. Dr. Nesrin Tarkan ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Burhanettin Can'a ve tezimin bir kısmının yazılmasında yardımcı olan Bayan Gülden Ün'e çok teşekkür ederim.

Ferdi Boynak

Ö Z E T Ç E

Güneş ısı sistemlerinde kontrol problemi incelenmiştir. Yük sıcaklık regülasyonu özelliklerinden hareket ederek minimum sıcaklık temelinde optimal kontrol problemi formüle edilmiştir.

Bu formülasyon belli bir güneş ısı sisteminde yedek enerji kullanımı değerinin en düşük sınırının hesaplanmasını verir.

Kontrol gerekliliğinin getirdiği karmaşıklık gözönüne alınarak bazı basit kontrolörlerin, oransal ve açık-kapalı, karşılaştırmalı incelemesi yapılmıştır.

S E M B O L L E R

θ_{cin}	: toplayıcı girişindeki akış sıcaklığı
θ_{cout}	: toplayıcı çıkışındaki akış sıcaklığı
θ_a	: çevre sıcaklığı
θ_s	: depo sıcaklığı
θ_e	: depo çevresinin sıcaklığı
θ_{Lin}	: ısı değiştirici girişinde akış sıcaklığı
θ_{Lout}	: ısı değiştirici çıkışındaki akış sıcaklığı
θ_R	: yük sıcaklığı
W_C	: depodan toplayıcıya akış debisi
W_{CL}	: toplayıcıdan depoya dönüşün akış debisi
W_{CS}	: depo kısa devresi akış debisi
W_{SL}	: depodan yüke olan çıkışın debisi
W_L	: ısı değiştirici çıkış debisi
q_{Loss}	: depodan enerji kaybının net değeri
q_s	: toplayıcı enerji kazanç değeri
q_{he}	: ısı değiştiriciden yüke bırakılan enerjinin değeri
q_{auxs}	: seri yedek ısıtıcının beslediği enerji değeri
q_{auxp}	: paralel yedek ısıtıcının beslediği enerji değeri

q_L : yükte enerji kayıp değeri

Bileşen Parametreleri

1.düzlem yüzeyli toplayıcı

A_C : toplayıcı alanı

F_R : ısı uzaklaştırıcı faktörü

U_L : toplayıcı ısı transfer katsayısı

S : birim alan başına düşen güneş ışınımı yutma değeri

2.depo

C_S : depo ısı kapasitesi

h_S : depo ısı kayıpları faktörü

3.ısı değiştirici

ξ : ısı değiştirici randıman faktörü

4.yük

C_R : yük ısı kapasitesi

h_r : yük ısı kayıpları faktörü

İ Ç İ N D E K İ L E R

	Özetçe	I
	Semboller	II
1.BÖLÜM	GİRİŞ	1
1.1.	Klasik Fark Kontrolörü	2
1.2.	Güneş Isı Sistemlerinin Optimal Kontrolü	5
2.BÖLÜM	GÜNEŞ ISI SİSTEMİNİN TANITILMASI	8
2.1.	Güneş Isıtma Sistemlerinin Tanıtılması	8
2.2.	Modelleme Düşünceleri	10
2.3.	Kontrol Problemi	11
2.3.1.	Yük Sıcaklığı Regülasyonu	11
2.3.2.	Bozucular	13
2.3.3.	Minimizasyonlar	14
2.3.4.	Kontrol Giriş ve Çıkışları	15
2.4.	Akım Kontrolü Uygulaması	15
2.4.1.	Kontrol Amaçları	15
2.4.2.	Açık-Kapalı Kontrol	16
2.4.3.	Oransal Kontrol	17
2.4.4.	Mikroişlemciler	18
2.5.	Doğrusal İkinci Dereceden Optimal Adaptif Kontrol	19
3.BÖLÜM	KONTROLÖRLERİN KARŞILAŞTIRILMASI	22
3.1.	Giriş	22
3.2.	Bazı Basit Yük Tarafı Kontrolörleri	23
3.2.1.	Pozitif Geri Beslemeli PI Kontrolü	25
3.2.2.	Gerri Beslemesiz PI Kontrolü	31
3.2.3.	Açık-Kapalı Etkili PI/Pozitif Gerri Beslemeli Kontrol	31
3.2.4.	Standart Fark Açık-Kapalı Kontrol	33

3.2.5.	Kısa Devre İşlemleri	34
4.BÖLÜM	OPTİMAL KONTROL PROBLEMİNİN ÇÖZÜ- MÜ	36
4.1.	Giriş	36
4.2.	Güneş Isı Sisteminin Matematiksel Tanımı	37
4.2.1.	Akış Değişkenleri	37
4.2.2.	Toplayıcı	39
4.2.3.	Isı Depolama Tankı	39
4.2.4.	Seri Yedek Isıtıcı	40
4.2.5.	Isı Değiştirici	40
4.2.6.	Yük	40
4.3.	Durum Bağıntılarının ve Kontrol Sınırlarının Bulunması	41
4.3.1.	I.Sistem İçin İşlemler	41
4.3.2.	II.Sistem İçin İşlemler	43
4.3.3.	III.Sistem İçin İşlemler	45
4.4.	Optimal Kontrol Problemi	46
4.4.1.	I.Sistem İçin Optimal Kontrol Prob- leminin Tanımlanması	46
4.4.2.	I.Sistemin Çözümü	47
4.4.3.	II.Sistem İçin Optimal Kontrol Probleminin Tanımlanması	53
4.4.4.	II.Sistemin Çözümü	54
4.4.5.	III.Sistem İçin Optimal Kontrol Probleminin Tanımlanması	57
4.4.6.	Optimal Çözüm (III.Sistem İçin)	57
5.BÖLÜM	SONUÇ	62
	Kavnakça	64

1. BÖLÜM

GİRİŞ

Ekonomik ve sosyal kalkınmanın en önemli girdilerinden biri olan enerji, yaklaşık on yıldır gerek kalkınmış gerekse kalkınmakta olan ülkelerin gündeminde en çok tartışılan konulardan bir olma özelliğini sürdürmektedir. 1973 petrol bunalımına çözüm arayışları, katı yakıt gizillerinin giderek tükenmesi ve sürekli artan enerji isteminin karşılanmasına koşut olarak artış gösteren enerji üretimi ile kullanılması süreçlerinin, insan sağlığı ve doğa için tehlikeli boyutlarda çevre kirliliğine neden olması gibi etkenlerden dolayı, son yıllarda yoğun bir biçimde alternatif enerji kaynaklarına yönelinmiştir.

Bu enerji kaynaklarından güneş enerjisinin önemi büyüktür; yeryüzü var oldukça tükenmesi söz konusu olmayan temiz bir enerji çeşitidir. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler giderek artan enerji istemlerini karşılayabilmek için güneş enerjisinden yararlanmayı ummaktadırlar. Bu nedenle enerjinin üretilmesi ve depolanması konularındaki çalışmalarını hızlandırmışlardır. Bu enerjiden yararlanmanın yolları teknolojik açıdan tatmin edici ölçüde gelişmiş bulunmakla birlikte, henüz ekonomik olma niteliğine erişmiş değildir⁽¹⁾. Günümüzde teknik ve ekonomiklik açılarından, konut ve tecimsel yapıların ısıtılması ve sıcak su elde edilmesi elverişli olanlardır.

¹ Türkiye Çevre Sorunları Vakfı, Türkiyenin yeni ve Temiz Enerji Kaynakları, (Ankara, 1984), s. 27

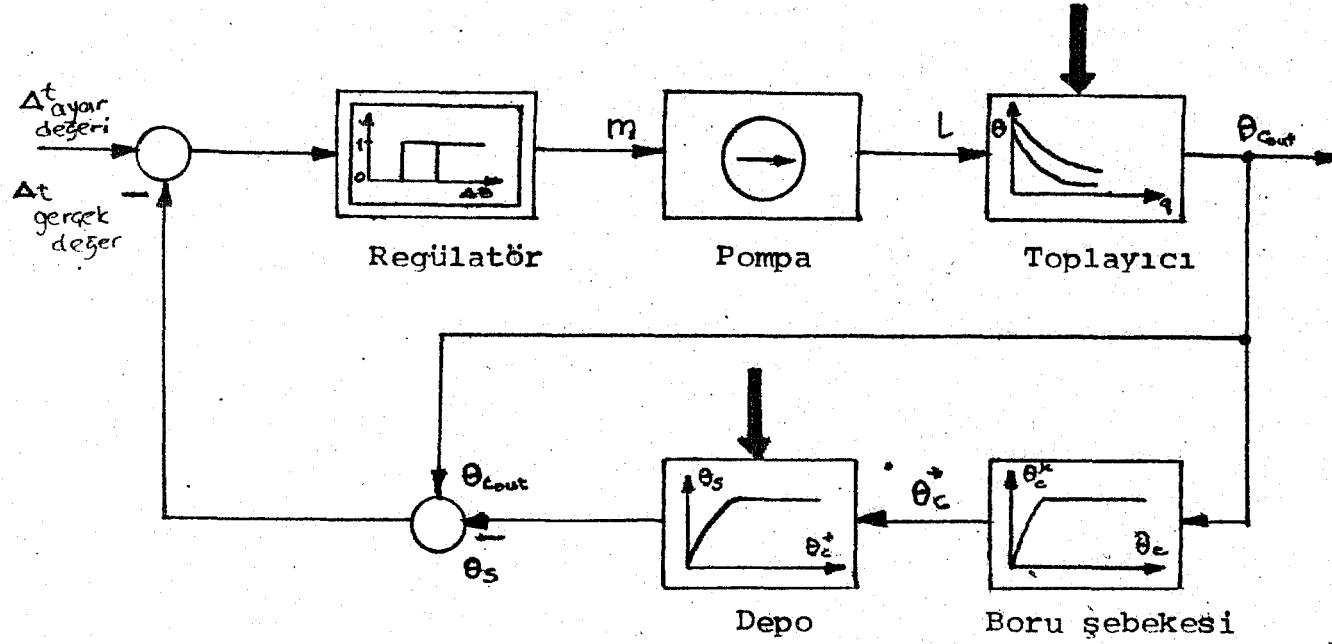
Türkiye'nin de kendi koşulları ve olanaklarıyla güneş enerjisinden yararlanma şansı büyüktür.⁽²⁾ Kalkınma savında olan ülkemizde enerjinin akılcı kullanımı çok önemlidir. Güneş enerjisinin kullanımı yönünde özel ve kamu kuruluşlarının çalışmaları yoğunlaşmış, güneşli su ısıtıcısı üreten özel firmaların sayısında önemli bir artış kaydedilmiş ve üretim tecimsel boyutlara ulaşmıştır.

Güneş enerjisi uygulamalarının artan önemine koşut olarak, bu sistemlerin kontrolü çalışmalarına harcanan çaba da artmıştır. Bu çalışmanın hedeflediği kontrol probleminin en yalın çözümü olan klasik fark sıcaklığı termostatu, aşağı kısaca tanıtılmaktadır.

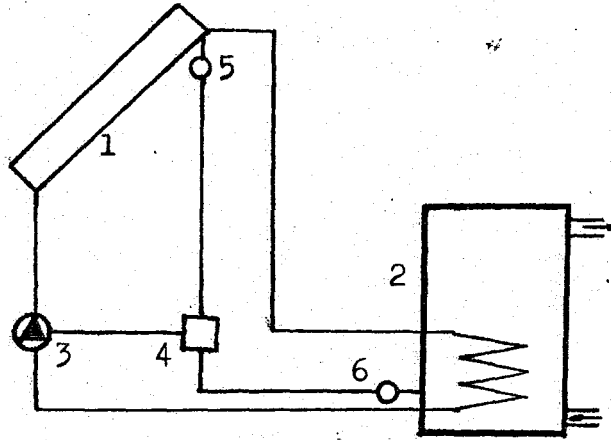
1.1 Klasik Fark Kontrolörü

Güneş ısı sistemlerinin denetlenmesinde geleneksel yöntem, iki sıcaklık ölçmesini gerektiren sıcaklık fark kontrolüdür. Böyle bir kontrolör şekil 1.2'de görülen basit bir ısı sisteminde kullanılır. Şekil 1.1 de bu sistemin sinyal akış diyagramı görülmektedir. Bu kontrolör depo ve toplayıcı sıcaklıklarının farkı temelinde çalışmaktadır. Kontrolör, fark sıcaklığını pompanın durumunu belirlemek için kullanılmaktadır. Şekil 1.3'de kontrolörün çalışma fonksiyonu görülmektedir. Toplayıcının artık sıcak su üretmediği zamanlarda (gece ve yetersiz güneş ışınımı), depoda hazır

² Aynı, s.46.

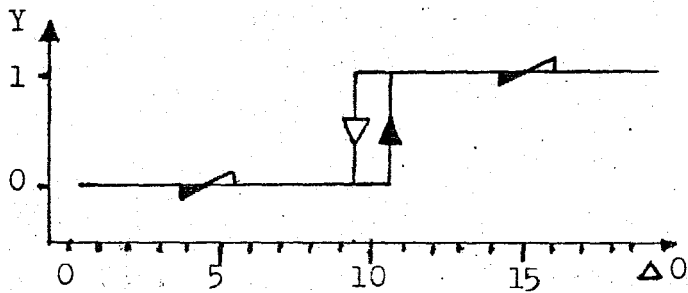


Şekil 1.1 Standart güneş sisteminin basitleştirilmiş sinyal akış planı



Şekil 1.2 Güneş ısı sistemi kontrolünün en yalın biçimi; sıcaklık fark termostati ile pompa kontrolü.

1. Toplayıcı
2. Sıcaklık değiştirici ve depo
3. Sirkülasyon pompası
4. Sıcaklık fark termostati
5. Toplayıcı sıcaklık algılayıcı
6. Depo sıcaklık algılayıcı



Şekil 1.3 Geleneksel sıcaklık fark termostatinin çalışma eğrisi.

sıcak suyun soğumasını önlemek için pompanın durdurulması gerekmektedir. Bu nedenle kontrolör, daha yüksek değerdeki toplayıcı sıcaklığı ile depo sıcaklığının farkı olan sıcaklık belli bir değerin altına düştüğünde pompayı devre dışı bırakır. Toplayıcının sıcak su üretebildiği zamanlarda, üretilen suyun depolanmak ya da kullanılmak üzere depoya sirküle edilip, ısı değiştirici çıkışındaki suyun ısıtılması için toplayıcıya yollanması gerekmektedir. Bunun için kontrolör, toplayıcı sıcaklığının yükselişine bağlı olarak artan bu iki sıcaklık farkının belirli bir değerinden sonra pompayı devreye sokar. Pompanın durumunu belirleyen ve kontrolörün kontrol girişi olan fark sıcaklığı, sistemin özgül fiziksel özelliklerine (tesisatın ısı kayıpları gibi) göre ayarlanabilir.

Bu tip kontrolörler daha karmaşık ısı sistemlerinde kullanılmaya elverişli değildir. Karmaşık yapıdaki sistemlerde kullanılabilecek yöntemler üçüncü bölümde tanıtılmıştır.

1.2 Güneş Isı Sistemlerinin Optimal Kontrolü

Güneş ısı sistemlerinin uygulamaları, kullanım yeri, amaçları ve teknikleri açılarından oldukça çeşitlidir. Su ısıtmasından, bina ısıtmasına, sera ısıtmasından tarımsal ürünlerin kurutulmasına ve büyük hacimlerin ısıtılma-

sına değin çeşitli uygulamaları vardır. Bu çalışmanın amacı, döşeme sıcaklığının (oda sıcaklığı) belirli bir değerde tutulmasını sağlayan güneş ısı sisteminin optimal kontrolüdür. Güneş sisteminin gerekli ıyı üretmediği zamanlarda (gece ve kötü hava koşulları), yedek enerji kaynağının devreye girmesi söz konusudur. Ancak yedek enerji kullanımı başlıca bir maliyet olduğundan optimal davranış gerektirir. Bu nedenle toplam yedek enerji kullanımı en düşük değerinde tutulmalıdır.

Güneş ısı sistemlerinde, katı yakıt sistemlerinde olmayan, iki önemli özellik vardır. Bunlardan birincisi, güneş ısı sistemlerinde ısı deposu bulunmasıdır. Diğer özellik ise enerji kaynağının değişken ve kontrol edilemez oluşudur. Bu iki özellik ile birlikte optimizasyon probleminin artırdığı karmaşıklık ve sistemin kuruluş maliyetinin yüksek oluşu nedenleriyle, güneş sistemlerinde kullanılan kontrolörlerin tasarımı oldukça ileri teknikler gerektirmektedir.

Modern optimal kontrol kuramı, güneş sistemlerinin kontrol tasarımları için uygun çözümler önermektedir. Bu çalışmada incelenen teknik, toplam yedek enerji kullanımının minimize edilmesi, enerjinin ekonomik kullanılmasını sağlayan önemli bir yöntemdir. (3)

³ Dorato, P., Optimal Temperatur Control of Solar Energy Systems, Solar Energy, Vol. 20, NO.2 s.147

Denetlenmesi amaçlanan güneş ısı sisteminin sisteminin tanıtılması ve problemin tanımlanmasına ayrılan ikinci bölümde öncelikle yöntemin tanıtılmasına yardımcı olacak bazı temel kavramlardan söz edilmiştir.

Güneş ısı sistemlerinde kullanılan kontrolörlerin karşılaştırmalı tanıtımını yaptığımız üçüncü bölümde söz konusu problemin çözümüne uygun kontrolörün saptanması hedeflenmiştir.

Dördüncü bölümde, optimal kontrol probleminin çözümü için gerekli durum bağıntıları ile kontrol sınırlamalarının bulunması işlemleri ve problemin çözümleri verilmiştir.

Sonuç bölümünde, çözüm sonuçları göz önüne alınarak gerçeklemeye ilişkin söz edilmiştir.

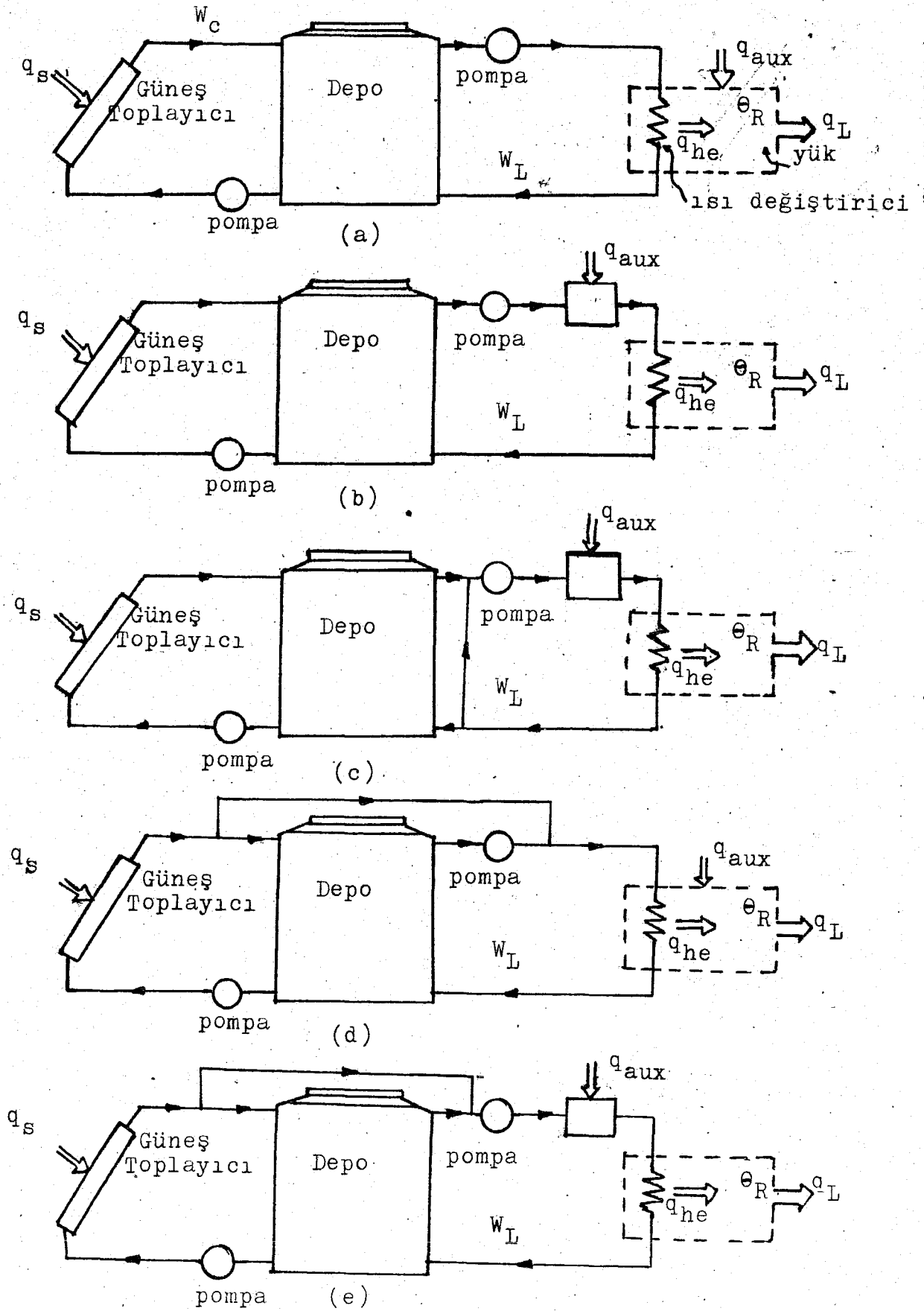
2. BÖLÜM

GÜNEŞ İSİ
SİSTEMİNİN
TANITILMASI

2.1. GÜNEŞ ISITMA SİSTEMİNİN TANITILMASI

Aktif güneş ısıtma sistemlerinde kullanılması amaçlanan bu çalışma , şekil 2.1'de görülen benzer tasarımlar için yönlendirilecektir. Bu tasarımların görünüşleri farklılıklar göstermekteyse de, aynı bileşenleri içermektedirler. Bu bileşenler ; güneş toplayıcısı, depolama tankı, pompalar, yük ısı değiştiricisi ve bir yedek (ek) ısıtıcıdır ve her biri farklı işlevler yüklenmişlerdir. Güneş toplayıcısı güneş ışınımı enerjisini yutar. Yük ısı değiştirici bu enerjiyi yüke yollar, fazla olan depo tankında saklanır, güneş enerjisi elverişli olmadığı durumda yükün istemi olan enerji değerini yedek (ek) enerji kaynağı karşılar. Diğer bir benzerlik ise suyun enerjiyi bir bölümden, diğer bir bölüme taşıyarak iş görmesidir.

Şekiller yedek ısıtıcınının şekil 2.1b,c,e 'de olduğu gibi, seri ya da şekil 2.1.a,d 'de olduğu gibi paralel biçimlerde devreye girmesine bağlı olarak iki sınıfa ayrılır. Seri düzenleme, yedek ısıtıcınının akışkanın depo tankını, yük ısı değiştiricisi yönünde terk etmesi sırasında devreye girmesidir, oysa paralel düzenlemede yedek ısıtıcı güneş ısıtıcı sisteminden bağımsızdır ve ısıyı dolaysız bir biçimde yüke beslemektedir. Şekil 2.1 'de görüldüğü gibi akışkanın kısa devre edilmesi (by-pass) söz konusu oldu-



Şekil 2.1

gunda güneş enerji sistemlerinin karmaşıklığı artmaktadır. Bu şekillerde üç tip kısa devre (by-pass) görülmektedir. Birinci kısa devre sıvının toplayıcıdan dolaysız olarak ısı değiştiriciye akmasını sağlar. İkincisi yükten dönen sıvının toplayıcıya dolaysız olarak girmesine neden olur. Üçüncü kısa devre ise yedek ısıtıcının devreye seri olarak girdiği güneş ısıtma sistemlerinde kullanılır, yükten geri dönen sıvının yük girişine tekrar sirkülasyonuna izin verir.

2.2. MODELLEME DÜŞÜNCELERİ

Şekil 2.1 'den anlaşılacağı gibi yük tek parça olarak modellenmiştir, yani tek bir sıcaklık yükün anlık durumunu karakterize eder. Depolama tankı da aynı şekilde tek parça olarak modellenmiştir. Akışta görevli tüm bileşenler (pompalar, borular, valfler) statik elemanlar olarak modellenmiştir. Toplayıcı, ışıınımdan ısı girişinin, toplayıcı sıcaklığının azalan fonksiyonu olduğu ısı değiştirici olarak modellenmiştir.

Kontrol problemine başvurulduğunda, sistemin bütün fiziksel özelliklerinin (yani, toplayıcı alanı, ısı değiştirici boyutları, pompalar vd.) verilmiş olduğunu varsayıyoruz. Toplayıcı tasarımı ile ısıtma sistemi tasarımının birbirlerini etkileyen tasarım işleminin en önemli noktası açık işlevli bileşenlerin (pompalar, valfler, ye-

dek ısı regülatörü) özellikleridir. Bunlar, belirli bir kontrol düzeninin başarıyla gerçekleştirilebilmesi için kritik olabilmektedir ve sistem kurulmuşsa ya da daha önceden tasarımlanmışsa modifiye etmek oldukça zordur. Diğer taraftan enstrümanların varolan sisteme ya da varolan sistem tasarımına eklenmesi ya da değişiklik yapılması genelde çok zor değildir. Bu çalışmada da böyle bir değişiklik söz konusu olduğunda gerçekleşmesinin olanaklı olabileceği varsayımı gözönüne alınmıştır. [4]

2.3. KONTROL PROBLEMİ

Güneş ısıtma sistemi kontrol problemleri, bir regülasyon ve bir minimizasyon problemlerini (diğer birçok kontrol probleminde olduğu gibi) kapsar. Bu türden kontrol problemlerinin çözümlenmesinde hareket noktasının büyük bir bölümünü bir takım standartların geliştirilerek aday kontrol sistemine benzetilmesi oluşturur. Bunun için genel kararların irdelenmesi, istenilen yedek ısı değerini alt sınırdan tutabilmek için engel olan eksikliklerin giderilmesi ve uygun, kabul edilebilir regülasyonun sağlanması için çalışılmıştır.

2.3.1. Yük Sıcaklığı Regülasyonu

Yük sıcaklığı kontrolünü, ayrıntıları ile tanımlamak ya da bir standart oluşturmak amaçları için yükün bir ya

da birden fazla sıcaklık ölçümleri ile tanımlandığını varsayıyoruz ve bu sıcaklıkların herbirini, ayar değeriyle ya da zamanın keyfi bir fonksiyonu olan istenilen sıcaklıkla benzetiyoruz. Modern kontrol kuramının bizi yönlendirdiği bir deneyim, ayar değerinden sıcaklık sapmaları ve yedek enerji kullanımı gibi önemli faktörlerin içinde bulunduğu çalışma indeksidir. Ancak bunun, bizi uygun bir kontrol stardartına götürmeyeceği (gerçi diğer amaçlar için kullanılabilir) anlaşılmaktadır. Farklı işlem kontrol sistemlerinde, örneğin, tecimsel yapılar ve konutlarda kullanılan ısıtma sistemlerinin sıcaklık sapması ve yedek enerji kullanım değerinin tanımlanması olası değildir ve bunun maliyetinin hesabı da olanaksızdır. Çeşitli ölçülemez büyüklüklerin oluşturduğu birleşik bir çalışmanın önemi, sonuçlarının büyük oranda buna özgü 'ağırlık' faktörlerinin seçimine bağlı olmasıdır. [4]

İkinci dereceden çalışma indeksinden daha önemlisi, bunun için kontrolörün, bazı sıcaklık bandında ya da en düşük sıcaklıkta karşılaştırmalar yapması temeline dayandırılması daha uygun görülmektedir. Sabit ayar değeri sıcaklığı için minimum sıcaklık daha elverişli bir büyüklüktür; bir üst sıcaklıkla toplanmasıyla band tanımlanabilir. Sonuçta ısıtma sistemlerinde, bununla birlikte böylesi bir toplama, sıcaklığı artırır ve korunması uygun görülmediği, ye-

dek enerji kullanımını artıracığı için elverişli olmamaktadır. Minimum sıcaklığı standart gibi kullanarak, ilgili periyod boyunca her ikisini de minimum sıcaklığa ayarlayarak iki ayrı kontrolörle çalışmak mümkündür. Yedek enerji kullanımı ya da diğer çalışma faktörleri böylece karşılaştırılabilir.

Eğer ayar değerleri sabit değilse, bu kez ayrıntı tanımlarını artırmak gerekir. Isıtma sistemlerinde ortak sabit olmayan ayar değeri 'geri bırakma'dır ve kısmi sabit ayar değer fonksiyonunu verir. Geçiş devirleri boyunca kontrolörün tanımlanmış bantta tutulması fiziksel olarak olanaksızdır. Yerleşme zamanı tanımı, sıcaklık kayma bantları (ayar noktası altındaki değerler) gibi belirli dönemlerinde sabit ayar değerli sistemler için uygun standartlar oluşturur. Isıtma sistemleri için keyfi ayar değeri fonksiyonları uygun olmamaktadır. [4]

2.3.2. Bozucular

Isıtma sistemleri için ayarlanabilir kontrol gereklidir, çünkü potansiyel olarak ölçülemez ve ölçülebilir türden bozucu etkenler söz konusudur. Bunlardan en önemli ikisi güneş girişi (ışınımı) ve çevre koşulları (sıcaklık, rüzgar hızı). Bu nedenler uzun süreli (mevsimsel), orta süreli (gündüz-gece) ve kısa süreli (saat) değişimlerdir, bun-

ların tamamının kontrolör tarafından süzülmesi gerekir. Diğer bozulmalar ise, yedek enerji üretimi değişimi, kapı ya da pencerelerin açılması ya da kapatılması gibi sıcaklık yükü değişimleri ve diğerleridir.

2.3.3. Minimizasyonlar

Güneş ısı sistemlerini ilgilendiren minimizasyonlar tanımlanmıştır. Bu çalışmada minimizasyonların ikinci dereceden işlemlerle tanımlandığı sürece spesifik imgelemesini değil, genel biçimini inceleyeceğiz. Birinci seviyede kontrolörler toplam ısı girişini yüke doğru minimize ederler (yedek enerjiyi değil). Ayar standartlarını minimizasyon probleminden ayırdığımızda, bu minimizasyon seviyesi uzun süre uygulanabilirliğini koruyamaz. Çünkü yük sıcaklığı aracılığıyla ısı yükü tamamen tanımlanmıştır, bütün kontrolörler minimum kabul edilen sıcaklıkta aynı fiziksel sistem ve çevre koşullarında toplam enerjinin aynı miktarının kullanılması için kapatırlar ya da düzenlerler. Minimizasyonun ikinci seviyesi ve burada daha çok üzerinde duracağımız seviyedir, regülasyon ayrıntılarını karşılayabildiği yedek ısının minimizasyonudur. İlgili diğer seviye ise daha çok sirkülasyon pompasının, kullandığı, yedek enerji gibi, enerjinin 'parazitik enerji' minimizasyonudur, (tasarım parametrelerinin etkileşimleri ve parazitik ener-

jiye kullanımı üzerine daha kısa, iyi tartışma için 4 no'lu kaynağa bakınız). Bu seviye bölüm 2.3.1 'de anılan ortak ölçülebilirlik problemleri ile ilgilidir. Yedek enerji ve parazit enerjinin aynı kaynaktan gelmediği (gaz, yakıt, elektrik gibi) durumda minimizasyon ağırlaştırma içermeli, hepsi aynı ortak birimde toplanmalıdır. Mantıksal ortak birim maliyettir, ancak bu da yerel özellikler taşır ve böyle genel kullanılması çok zordur.

2.3.4. Kontrol Giriş ve Çıkışları

Olası en yalın ısıtma sistemi üç kontrol girişi (işletme işaretleri) ve bir ölçmeyi gerektirir. Bu üç işletme işareti toplayıcı akışı, depodan yüke dolaşım akışını ve yedek enerji beslenmesini denetler. Eğer tek bölge ısıtması kullanılıyorsa en az ölçme, bir tek yük sıcaklığıdır. Kabul edilebilir varsayımla depo sıcaklığı da, kontrolör için aynı şekilde kullanılabilir olur.

2.4. AKIM KONTROLÜ UYGULAMASI

Akım kontrol tasarımı yöntemi kontrol devresi ve yük devresinin bağımsız sistemler olarak ve her birine oransal ya da açık- kapalı kontrol türlerini, her birinin kendi alt bölümlerinde kullanılmasından söz eder.

2.4.1. Kontrol Amaçları

Sistem, yük bölümü ve toplayıcı bölümü diye iki kısma ayrıldığında çok değişkenli kontrol problemi üstesinden gelinebilir seviyeye düşürülebilir. Toplayıcı bölümünün kontrol problemi tek girişli, tek çıkışlı problemdir, kontrolörün girişi, toplayıcı ve depo tankı sıcaklıklarının farkıdır ve kontrol çıkışını ise toplayıcı içinden akan sıvının akışı için kontrol işareti oluşturur. Toplayıcının fiziksel özellikleri, kontrolör tasarımını oldukça etkiler;

1) toplayıcı verimi (güneş enerjisini toplayabilmesinin yüzeyine düşen ışınım oranı), toplayıcı sıcaklığının azalan fonksiyonudur.

2) kötü koşullar altında (düşük çevre sıcaklığı, düşük ışınım) ısı kaybından toplayıcıyla ısı kaybı kazanılması. Kontrol amaçları, toplayıcı sıcaklığını olabildiğince düşük tutarak toplayıcı verimini maksimize etmek ve toplayıcıya olan akışı, depodan artık çevreye ısı kayıpları olduğu durumlarda durdurma. [4]

Yük tarafı kontrol problemi çok değişkenlidir, çünkü burada iki denetleme sinyali gereklidir, depodan olan akış ve yedek ısı akışı. Kontrolün ana amacı, regülasyon koşullarına ters düşmeden depodan en fazla ısıyı kullanabilmektir.

2.4.2. Açık-kapalı Kontrol

Isıtma endüstrisinde açık-kapalı kontrol uzun süredir standart olarak kullanılmaktadır ve güneş ısıtma sistemleri için de bu yöntem başvurulabilir. Açık-kapalı algılayıcıları ve denetleyicileri piyasada bulunabilir, düşük maliyetli ve güvenilirlerdir. Açık-kapalı kontrolörler (ya da açık-kapalı histerizis.) toplayıcı devresinde, toplayıcı depo sıcaklık farkını kontrol girişi olarak kullanarak iş görürler. Toplayıcı içinden akış, sıcaklık farkı belli bir değere erişince başlar ve belli bir değere düşünce durur.

Yük tarafında açık-kapalı kontrol genellikle iki standart açık-kapalı termostatın birlikte kullanılmasıyla gerçekleşir. Biri güneş deposundan akışı kontrol ederken diğeri ise yedek ısıyı kontrol eder. Depo akışını kontrol eden termostatın açık konumuna ayarlanmasında sıcaklık ayar değerinin, yedek ısı kontrolörü ayar değerinden daha yüksek tutulmasıyla yedek ısı böylelikle yalnızca gerektiğinde kullanılacaktır. Bu yöntemin sakıncası güneş ısı kullanılabılır durumda iken, yük sıcaklığı, yük sıcaklığı regülasyon standartlarınca belirlenmiş en düşük yük sıcaklığının oldukça altında olacaktır.

2.4.3. Oransal Kontrol

Sistemin toplayıcı tarafında oransal kontrolü ileri sürenler, düşük ısıtım değerlerinde çok daha fazla verimli

toplamanın gerekleştirdini savunuyorlar. Aynı koşullarda açık-kapalı kontrolörle devre açıldığında, sıvının akış hızının yüksek oluşu nedeniyle toplayıcı çok kısa sürede soğuyacak devre tekrar kısa sürede kapanacaktır. Yük tarafında ise, açık-kapalı kontrol ile gerekleşenden daha düşük sınır sıcaklığını, daha kapalı regüle yeteneğiyle gerekleştirmek gerektiği özelliğinden dolayı kontrolörün oldukça verimli çalışması istenir.

Yük tarafındaki oransal kontrol ile problem, tek bir kontrolörün çıkışının, yedek enerji ve depo ısısının ayrı ayrı yüke iki denetleyici eleman ile nasıl kontrol edilebileceğidir. Kullanılan bir yöntem göre, çevre sıcaklığının ve depo sıcaklığının bir fonksiyonu olan etki eğrisinin temelinde depo ısısının mı, yoksa yedek ısısının mı kararının olduğu belirlenip iki çalışma bölgesi saptanmaktadır.

Farklı açık-kapalı sistemleri, çoğunlukla standart ya da az değişik gösteren algılayıcılar ve işletme bileşenleri kullanırlarken oransal kontrol için yeni bileşenler tasarımlanmalı ya da seçilmelidir.

2.4.4. Mikroişlemciler

Güneş ısıtma, mikroişlemciler için ideal bir uygu-

lama olmaktadır. Güneş sistemlerinin cevap süresinin düşük olması, mikroişlemcinin görece yavaş hesaplama hızına uygundur ve hiçbir probleme neden olmaz. Bundan başka, yukarıda tanımlandığı gibi kontrol probleminin karmaşıklığı ve mikroişlemci yeteneğinin bu karmaşıklığı çözebilecek yetenekte olması ve düşük maliyetle gerçekleştirilebilirliği nedenleriyle güneş enerjisi ısıtma sistemlerinin kontrol işlemlerinde kullanılmasını vazgeçilmez kılmaktadır. İleri düzeyde birçok kontrol algoritmalarının, akım çalışması yöntemi ile gerçekleştirilmesi hemen hemen tamamen mikroişlemcilerle çalışılmasını gerektirmektedir, en azından bu konutlar ile küçük ticari yerleşimlerde böyledir. Daha büyük tesisatlarda ise işlem kontrol bilgisayarlarının kullanılması daha yerinde bir karar olur. Düzenliğin karmaşıklığı ve mikroişlemci ile gerçekleştirilmiş kontrolörlerin yeteneği gözönüne alınırsa, basit geleneksel kontrolörlerle mikrotabanlı kontrolörlerin maliyetleri açısından da karşılaştırılması, kontrolörlerde mikroişlemcinin kullanılması lehinedir. [2]

2.5 DOĞRUSAL İKİNCİ DERECE DEN OPTİMAL/ADAPTİF KONTROL

Kontrol probleminin karmaşıklığı ile ilgili kontrol algoritmasının geliştirilmesi için yapılması gereken akım

araştırması daha önce ortaya atılan optimal kontrol kuramlarından hareket ederek olanaklıdır. Doğrusal ikinci dereceden kontrol bizi geri besleme formülasyonuna götürdüğü nedeniyle, optimal kontrol gerçeklemlerinde ortak bir araç olmaktadır. Ağırlaştırma faktörleri kere, sistemin durumuna göre, giriş ya da çıkış değişkenlerinin oluşturduğu ikinci dereceden büyüklüklerin toplanması sonucu işletme indeksi bir araya getirildikten sonra iki kontrol terimi hesaplanmalıdır. Bunlar, sistemin istenilen ayar değeri durumuna karşılık gelen denge noktasını sağlayan kararlı (sabit) girişlerdir ve bir dinamik terim, belli işlemenin dengeden saparken kontrol kazancını verir. Doğrusal bir sistem için birinci terim doğrusal cebirsel matris bağıntısından hesaplanır, ikinci terim ise doğrusal olmayan matris bağıntısının çözümünü gerektirir, (Riccati bağıntısı). Bu iki hesaplama, ancak özellikle birincisi sistemin doğrusal modelinin doğruluğuna bağlıdır. Kontrolü gerçekleştirilen sistem doğrusal ilişkiden anlamlı biçimde sapmalar gösteriyorsa, doğrusal model dönemsel olarak tekrar tanımlanmalıdır (nitekim adaptif ve kontrolün toplamı). Bu sabit terimin asıl önemi, güneş ve yedek ısılar arasında uygun paylaşmayı sağlamasıdır ve bu terim, basit geleneksel kontrolörlerin tasarımılanmasında güçlükler çıkarır.

Burada, bu tür karmaşık düzeyli kontrolörlerin ger-

çekleştirilmesinin karşılığı ne olmuştur sorusu sorulabilir. Sözü edilen tüm çalışmalarda, spesifik geleneksel kontrolörle karşılaştırıldığında yedek enerjinin kullanımında anlamlı ekonomiklik sağlanmıştır. Bunun ötesinde önemli bir nokta da optimal kontrol gerçekteştirilemiyorsa, bir işletme stardartı oluşturulup diğer kontrolörlerle karşılaştırılabilir. [4]

3. BÖLÜM

KONTROLÖRLERİN
KARŞILAŞTIRIL-
MASI

3.1 GİRİŞ

Bu çalışmada önerilen kontrolör değerlendirme yöntemi aşağıda tartışılmıştır. Daha önce sözü edildiği gibi kontrolörler yük sıcaklığını alt sınır θ_{Rmin} ve üst sınır θ_{Rmax} arasında düzenlenmesini sağlamalıdır. Bu kontrolörler için parazitik değerler, pompalama gibi önemsiz olduklarından bu çalışmada gözardı ederiz. Böylece yalnızca toplam yedek ısı, kontrolörün çalışması için ölçü alınmış ve değerlendirmede temel ölçüt olmuştur. Bu büyüklüğün alt sınırı standart olarak kullanılabilir. Yine de bunun hesaplanması optimal kontrol problemine götürmektedir.

Optimal standartın hesaplanmasında bazı varsayımlardan hareket ediyoruz. Önce modeli ısı değiştirici ve toplayıcı dinamiklerini gözardı ederek yakınlaştırdık. Sonra yük sıcaklığını bunun en alt sınırı θ_{Rmin} 'e eşit almayı gerekli gördük. Böylece, tek durum değişkeninin depo sıcaklığı olması söz konusu.

Şekil 21.a, b, d'de verilen üç sistem şekli ile çalıştık. Belirtmenin basitleştirilmesi için bu sistemler sırasıyla I, II, III olarak adlandırıldı. Bu üç ayrı sistem biçimi için de kontrolörün amacı toplam yedek enerji kulla-

nımının minimize edilmesidir, matematiksel bağıntısı [4]

$$\min J = \min \int_{t_0}^{t_f} q_{aux} dt \quad (3.1)$$

yazılır, burada J , maliyet fonksiyonudur ve t_0 'dan t_f 'e dek bir gün, bir hafta, ya da bir ay gibi bir dönemin süresini belirtir. Durum değişkeninin, t_0 'daki değeri t_f 'deki değerine eşittir. Bununla birlikte belirli bir sistem için minimizasyon, durum denklemini sistem ilişkileri ve doyum gibi kontrol sınırlarını yönetmesinde etkili kılar. Güneş enerjisi ve yedek enerjinin kullanımı için optimal strateji minimum ilkesinin uygulanmasıyla bulunur. Bizim matematiksel sonuçlarımız da, optimal stratejinin, güneş enerjisinin olabildiğince fazla ve yedek enerjinin ise yalnız yük istemini karşılamak için kullanıldığı sonucuyla uyumludur. Bu standartın sıra ile uygulaması için sistemin ilk durumunun, sistemin ilk ve son durumlarının eşdeğer düşünerek (yinelemeli işlem) seçilmesi gerektiği dikkatten kaçmamalıdır.

3.2. BAZI BASİT YÜK TARAFI KONTROLÖRLERİ

Bu çalışmanın ardındaki prensip güdü, karmaşıklığın artması ile çalışmanın iyileştirilmesi arasında dolaşı -

olarak güneş ısı sistemi kontrolör tasarımımda kazanç değerinin artırılması noktasının belirlenmesi idi.Öncelikle bunun için kullanılan belirli kontrolör tasarımlarının iyileştirilebilme potansiyellerini araştırmalıyız.Bu,bir sıcaklık regülasyon standartını oluşturarak ve sonra toplam yedek enerjinin kullanımını minimize ederken standart olabilecek nitelikte bir optimal kontrol türeterek gerçekleştirilmiştir.Bundan sonra çeşitli bazı basit kontrollerlere göz atarak bunların çalışmasını optimal olanla karşılaştıralım.

Kontrolörlerin tasarımında hareket noktasının temel nitelik değerlendirmesidir.Tek parça modelde, ısı yükü,ortam sıcaklığı ile yük sıcaklığı farkıyla orantılıdır.Bu nedenle tek durum değişkeni olan yük sıcaklığının ısı yüküne etkisi vardır.Bu, yük sıcaklığının minimum değerine yakın ayarlanarak, ısı yükünün azaltılması gerektiğini açıklar.Kontrolörün yeteneği,yük sıcaklığını minimum değeri dolayında ayarlanmasına izin verirse,toplam ısı yükü azalır.Şekil 2.1 'de yük birinci derecedir.Eğer bu uygulamada da gerçek ise(simülasyon ve tasarım hesapları doğruluğunu göstermiştir) etkin bir regülatör tasarımı zor olmayacaktır.

Sonuçta depo tankı ve yedek ısıtıcının,her ikisi-

nin kontrolü sorunu ile çok değişkenli kontrole başvur - maksızın tanıştık. Bu çözüm, tanktaki enerjinin olanaklı olabildiği her zaman kullanılmalıdır, sezgisel sanısı ile gerçekleşmiştir. Böylelikle kontrol düzeni, depodan en fazla miktarda enerjinin kullanımını (an) temelinde olanaklılaştırırken yalnız gerektiği durumda yedek enerji beslenmesini öngörüyor.

3.2.1 Pozitif Geri Beslemeli PI Kontrol

PI Kontrolörün tasarımında aşağıdaki kısıtlar kullanılmıştır. [4]

1. Üzerinde çalışılan sistem şekil 2.1.b 'ye ben - zemektedir.

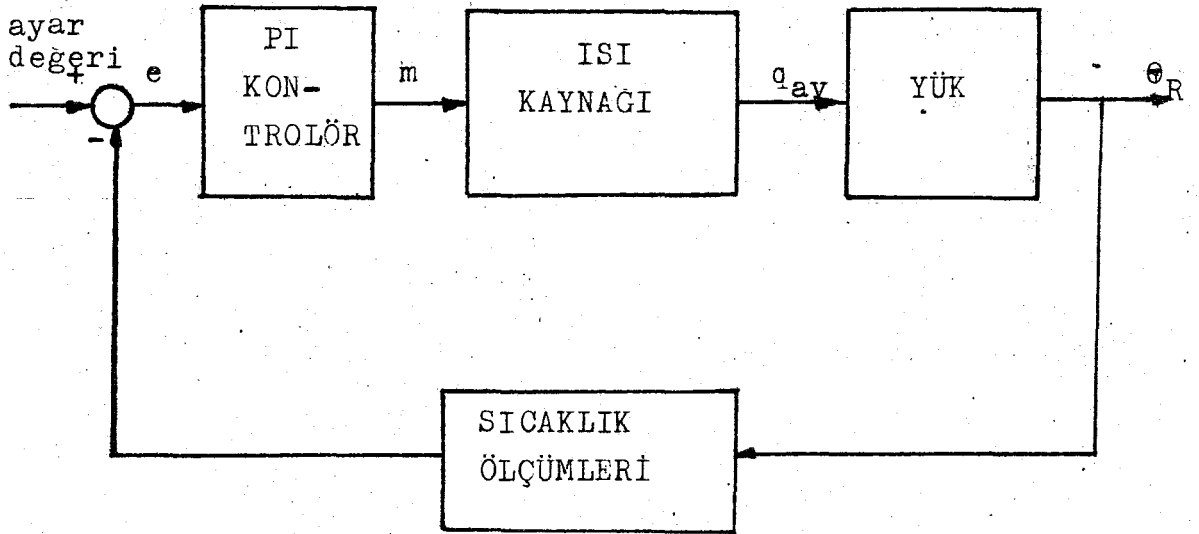
2. Her düzenin parametreleri kaba olarak bilinmek - tedir.

3. İki ölçme yapılabilmelidir ; yük (oda sıcaklığı) sıcaklığı ve yedek enerji giriş sıcaklığı (gerçi pozitif geri besleme düzeni, aynı zamanda ortam sıcaklığı ölçümünü kapsayarak kolayca genişleyebilir).

Bozucular etkisi altındaki yükün, ayar değerinden çok küçük sapmalarla ya da hiç sapma olmaksızın etkin bir biçimde ayarlanabilmesi için, kontrolörün ayrıca bir integ - ratörü içermesi gerekmektedir. Sistemin cevap süresini iyileştirmek için bir oransal terime gereksinme duyulur,

türevsel terimler ise birinci dereceden yükler için elverişli değildir, bundan dolayı burada kullanılmaz. Böylelikle temel kontrol tasarımı, standart bir PI kontrolör idi. [4]

Güneş ısı sistemlerinin geleneksel yük tarafı kontrolörlerinin birincil sorununu, depo ve yedek ısının birlikte kontrol edilmesi güçlüğü oluşturur. Bu nedenle sistemi şekil 3.1'de görülen alışılmış biçimde formüle ediyoruz. Bu formülasyona göre, kontrolör tek giriş ve tek çıkışlıdır.



Şekil 3.1 Kontrol blok diyagramı

Her iki ısı kaynağı da tek bir kutu içinde " ısı kaynağı" olarak gösterilmiştir. Kullanılmaya hazır ısıdan istemde bulunulan miktarını 'ısı kaynağı' sisteminden, m , kontrol işareti ister. Kullanılmaya hazır ısının tanımı, depo ısı değiştiriciden akışın hızı kere yük ısı değiştiricinin giriş su sıcaklığı ile yük sıcaklığı farkıdır (burada suyun özgül sıcaklığı da tanıma eklenir). Şekil 2.1.b 'de tanımlanan büyüklüklerde kullanılabilir ısı şöyledir,

$$q_{av} = (\theta_{Lin} - \theta_R) W_L C \quad (3.2)$$

Kontrolör çıkışı, m , q_{av} 'nin kumandası ile ilişkili olduğu sürece, W_L ile eşitsizlik sınırları (3.2) nolu bağıntıdan hesaplanabilir,

$$W_L = m / (\theta_{Lin} - \theta_R) C \quad (3.3)$$

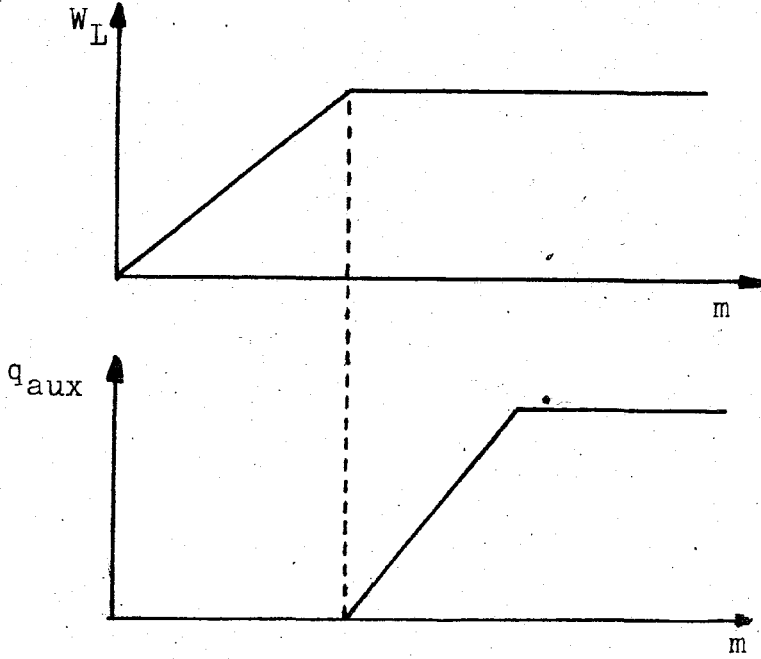
$$0 \ll W_L \ll W_{Lmax}$$

Yedek enerji, q_{av} 'deki bazı hesap açıkları için kullanılır.

$$q_{aux} = m - W_L (\theta_{Lin} - \theta_R) \quad (3.4)$$

$$0 \ll q_{aux} \ll q_{max}$$

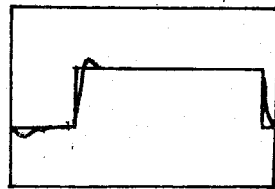
W_L ve q_{aux} 'ın m 'e bağımlılığı şekil 3.2 'de grafiksel olarak gösterilmiştir.



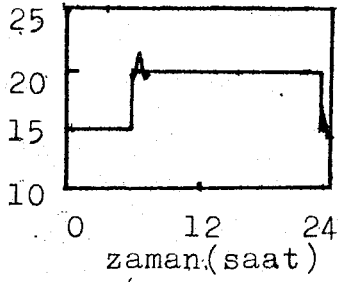
Şekil 3.2 PI kontrolörün işleme fonksiyonu

Burada dikkat edilmesi gereken nokta, eşitsizliklerin sınırlarının, kontrol edilenin çalışma bölgelerinin sınırlarından daha geniş olmasıdır ki, bu da kontrolör tasarımının zorlaşmasına neden olur. Kontrol edilen elemanların bağıntısına θ_{Lin} 'nin eklenmesi kontrolöre pozitif geri beslemeyi sağlar, depo sıcaklığında oluşan değişimlerin; yük sıcaklığını etkilemesi öncelikle kompanze edilir.

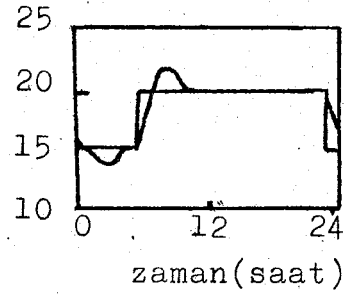
Bu ve bundan sonraki kontrolörlerde simülasyon, [4] sabit ayar değeri ve 23- 6 saatleri arasındaki zaman aralığı gözönüne alınarak yapılmıştır. Bu simülasyonlar sistemin bütün dinamiklerini (oda, ısı değiştirici, toplayıcı, depo) ve toplayıcının doğrusal olmayan özelliklerini içerir. Bütün durumlarda, ilk koşullar, ilk ve son durumların aynı olduğu gözönüne alınarak ayarlanmalıdır. Bu ayar, sistemin iç enerjisinin değişime uğramadığını garanti eder ve enerji kullanımlarının karşılaştırılması olanaklarını sağlar. Sonuçta sabit ayar değeri durumu için, ayar değeri, minimum sıcaklığın hiçbir zaman 20°C nin altına düşmeyecek biçimde ayarlanır. Pozitif geri beslemeli PI kontrolü için simülasyon çalışmasında regülasyon her zaman ayar değerinin $0,1^{\circ}\text{C}$ lık sınırları içinde sağlanmıştır ve yedek enerji kullanımının optimal yedek enerji kullanımına oranı, $Q_{\text{aux}}/Q_{\text{opt}}$, bire (1) eşittir, burada $Q, \int_{t_0}^{t_f} q dt$ bağıntısı ile tanımlanır. Değişken ayar değerli durum için yük sıcaklığı, şekil 3.3 'de görülmektedir. [4]



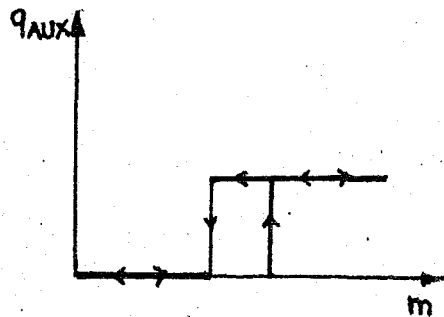
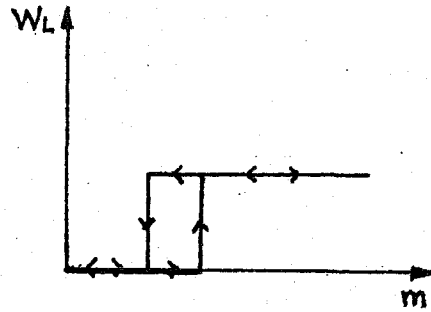
Şekil 3.3



Şekil 3.4 Isı yükü nominal değerinin 1/4 'ü



Şekil 3.5 Isı yükü nominal değerinin 4 katı



Şekil 3.6 PI kontrolün işleme fonksiyonu

Enerji kullanım oranı 0,99'dur (ayar değeri altındaki dönemlerde, üstteki dönemlere göre biraz daha fazla enerji kullanıldığını gösteriyor).

Modelleme hataları için bu kontrolörün test edilmesinde, yük ısıl kapasitesi nominal değerinin bir çeyreği değerinden 4 katı boyunca bir bölgede ayarlanmıştır. Şekil 3.4 ve 3.5' de bu biçimde çalışan kontrolün, uç durumlar için cevabı görülmektedir.[4]

Bu kontrolör analog elektronik ya da mikroişlemcilerle gerçekleştirilebilir, analog elektronikle gerçekleştirilmek istendiğinde daha titiz çalışmalıdır.

3.2.2. Geri Beslemesiz PI Kontrolü

Bu kontrolörün yapısı, yük sıcaklığından başka ölçme yapılmaması dışında bir öncekiyle özdeştir. Pozitif geri beslemedeki bilginin olmaması, ayar niteliğini biraz düşürür, yaklaşık sapma $0,4^{\circ}\text{C}$ 'dir. (pozitif geri beslemeli tipde $0,1^{\circ}\text{C}$ idi). Sabit ayar değerli durumda, minimum sıcaklığı 20°C üstünde tutmak için tekrar ayarlanması yedek enerji kullanımını yaklaşık %1 artırır.

3.2.3. Açık- Kapalı Etkili PI/Pozitif Geri Beslemeli Kontrol

Yük tarafında oransal kontrol kullanılması aleyhi-

ne bir tartışma, bu durumda standart kontrol elemanları (valf, pompa, fan, yakıcı gibi) yerine daha az güvenilir ve daha fazla maliyetli bileşenleri gerektirdiğidir. Diğer taraftan algılayıcıyı ya da kontrolörün değiştirilmesi çok daha az külfettir. Böylesi bir anlayışla bu kontrolörle PI/ geribeslemeli kontrolörlerin mantığı ve enstrümanları kullanılırken bu kez yük akışı ve yedek ısı kaynağını denetleyecek açık-kapalı elemanları kullanılabilir. Şekil 3.6 bu kontrolörlerin açma-kapama fonksiyonlarını göstermektedir, maksimum devir frekansı hesaplanarak kontrole histerizis eklenmiştir.

Bu kontrolörün açık- kapalı kontrolörlere göre bir üstünlüğü, çalışma sıcaklığı bölgesi değişmeksizin integratörün sistemi, yedek enerjiden depoya ya da tersine tekrar ayarlayarak kaydırabilmesidir. Bundan dolayı ortalama çalışma sıcaklığı düşük tutulabilmektedir.

Kontrolör parametrelerinin ayarlanması tepeden tepeye $2-3^{\circ}\text{C}$ salınımına neden olur ve ayar değeri minimum 20°C üstünde bir sıcaklığa ayarlanır, yedek enerji kullanım oranı, $Q_{\text{aux}}/Q_{\text{opt}}$ sabit sıcaklık durumu 1.07'ye eşittir. [4]

3.2.4. Standart Fark Açık- Kapalı Kontrol

Standart açık- kapalı kontrolör, yedek enerjiyi ve depo akış hızını ayarlayan iki regüler termostatın yerine yerleştirmek için kullanılır. Depo akışını kontrol eden termostat, yedek enerjiyi kontrol eden termostattan daha yüksek sıcaklığa ayarlanmıştır. Güneş deposu ısı yükünü karşılayabildiği sürece yedek enerji kullanılmaz. Ancak eğer sıcaklık düşüşü sürerse, yedek enerji devreye girer. Yukarıda dikkat çekildiği gibi ortalama çalışma sıcaklığı diğer kontrol düzenlerine oranla daha yüksek olur. En düşük sıcaklık 20°C altına düşmeyecek biçimde ayarlandığında dış enerji kullanım oranı, sabit sıcaklık durumu için 1.12'e eşittir. [4]

Kontrolörlerin enerji kullanım oranları, açık-kapalı kontrolörlerin görece performans gösterdiğini açıklıyor, ancak çeşitli koşullarda uygulama değerlerinin, gerçek durumlarda değişmesi söz konusudur. PI kontrolör ile açık-kapalı kontrolör arasındaki çalışma farkının önemli bölümü, limit-dönem ilişkisinden ötürü yükteki ortalama sıcaklığın yüksek oluşudur. Kuramsal sınırlamadan daha çok pratik sorun olan limit döneminin genliği, kontrolör fonksiyonunun histerisizinin değiştirilmesiyle ayarlanabilir.

Bunun yanısıra, PI/açık-kapalı kontrolör ile standart açık-kapalı kontrolör arasındaki fark, hava koşullarının daha sert olduğu günde daha da artar. Deponun tek başına yük sıcaklığını karşılamayacağı bir günde yedek ısı sürekli devreye girer ve çıkar. Yumuşak bir günde depo ısı istemini tek başına karşılayabilir; yük sıcaklığı, depo devresi akışındaki açık-kapalı kontrolün yüksek ayar değeri yükün sıcaklığının artmasına neden olur.

3.2.5. Kısa Devre İşlemleri.

Şekil 2.1 'de gösterilen sisteme iki kısa devre eklenebilir ve bu yük tarafı kontrolünü etkiler. Birincisi, ısı değiştiricinin dönüş akışı yedek enerji girişine, (bakınız şekil 2.1.c) depo kısa devre edilerek, direkt yollanır ; ikincisi ise yine depo kısa devre edilerek toplayıcıdan gelen akışkan direkt olarak yedek enerji girişine yollanır (şekil 2.1.e). Birinci olarak söz ettiğimiz kısa devrenin, yük dönüşü sıcaklığının depo tankı sıcaklığından daha yüksek olduğu her zaman çalıştığı açıktır. Tasarlanan, depo tankı sıcaklığını , yedek enerji kullanarak artırmanın engellenmesidir (yine de bu, yararlı yük tepe değer özellikleri gözönüne alındığında çalışmanın biçimini etkileyebilir). Diğer, ikinci kısa devre düzeni, toplayıcı dönüşü sıcaklığı yük sıcaklığından daha yüksek olduğu

ve yükün ısı talep ettiği her zaman çalışır. Bu kısa devre stratejisi, optimal kontrol hesaplamalarında kullanılmıştır. Bizim kuramsal sistemimize uygulandığında θ_{opt} büyüklüğünde % 6 oranında düşüş sağlanmış, geri beslemeli PI sistemde gerçekleştirilmiştir. Her ne kadar birinci olarak sözünü ettiğimiz kısa devrenin algoritması kurulmuşsa da, yük ısı değiştiricisi özellikleri nedeniyle uygulanması gerekli görülmemiştir.

4. BÖLÜM

OPTİMAL
KONTROL
PROBLEMİNİN
ÇÖZÜMÜ

4.1. GİRİŞ

Bu bölümde sistemin üç farklı biçiminin çalışma kriterlerinin minimize edilmesiyle optimal hedefe ulaşılması için bir yol izlenmiştir. Birinci şekil yedek enerjinin paralel girdiği (şekil 4.1.a), ikinci şekil ise yedek enerjinin seri girdiği (şekil 4.1.b) durumlardır. Üçüncü ise (şekil 4.1.c) toplayıcıdan yüke doğru olan sirkülasyonu direkt sağlayan kısa devre eklenmiş biçimiyle birinci şekildir. Bu üç biçimin her birisi için, farklı durum bağıntıları ve varsayım yaklaşımıyla sabitleri tanımlanmış kontrol kısıtları vardır. Gerçi optimal için her üç düzenlemenin varsayımları farklıysa da prensip amaç, bu farklı üç sistem biçimi için aynıdır; toplam yedek enerji kullanımının minimize edilmesidir.

Optimal kontrol amacına ulaşmak ve kontrol sınırlarının bulunması için gerekli olan durum bağıntılarını bulmamız gerekiyor. Sonra optimal kontrol çözümünü sağlayabilmek için minimum prensibini, optimal kontrol problemi yönteminde kullanıyoruz. Bu yöntemi her üç farklı sistem durumu için ayrı ayrı uyguluyoruz.

4.2. GÜNEŞ ISI SİSTEMİNİN MATEMATİKSEL TANIMI

Şekil 4.1 'de görülen farklı akış debilerinin ve sistemin temel bileşenlerinin tanımlarını veren matematiksel bağıntılar aşağıda verilmiştir. Kullanılan sıvının su olduğu kabul ediyoruz, özgül sıcaklığını aşağıdaki bağıntılarda ($c=1$) olarak kullanıyoruz. [4]

4.2.1. Akış Değişkenleri

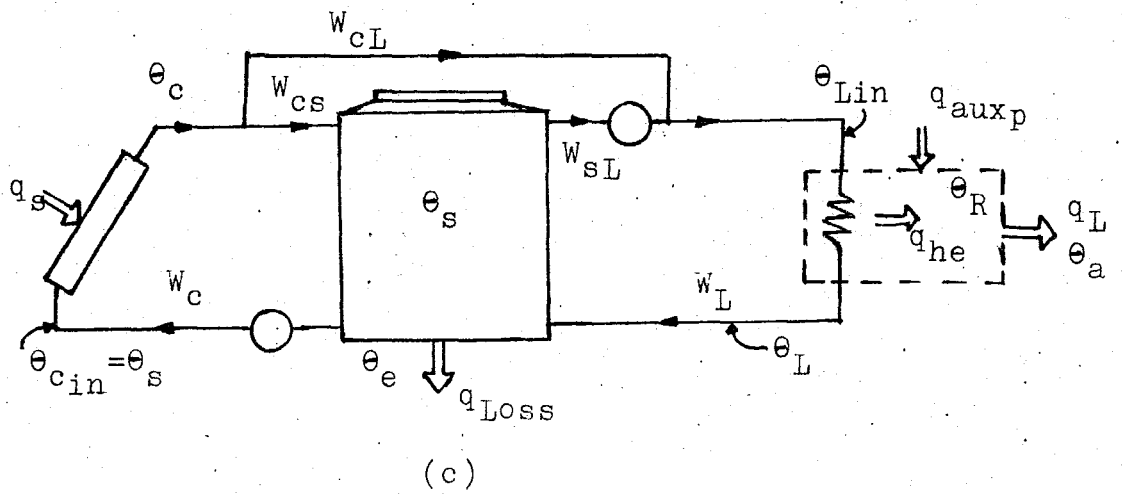
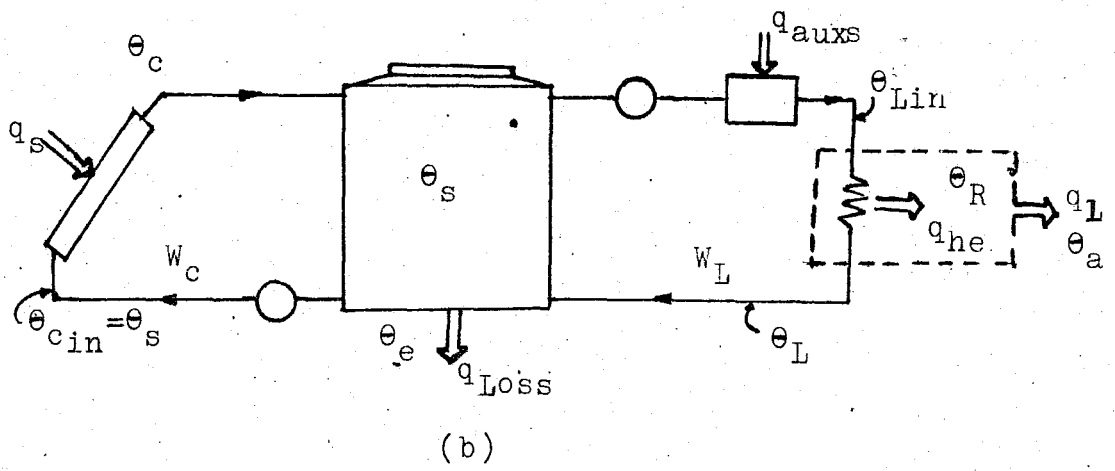
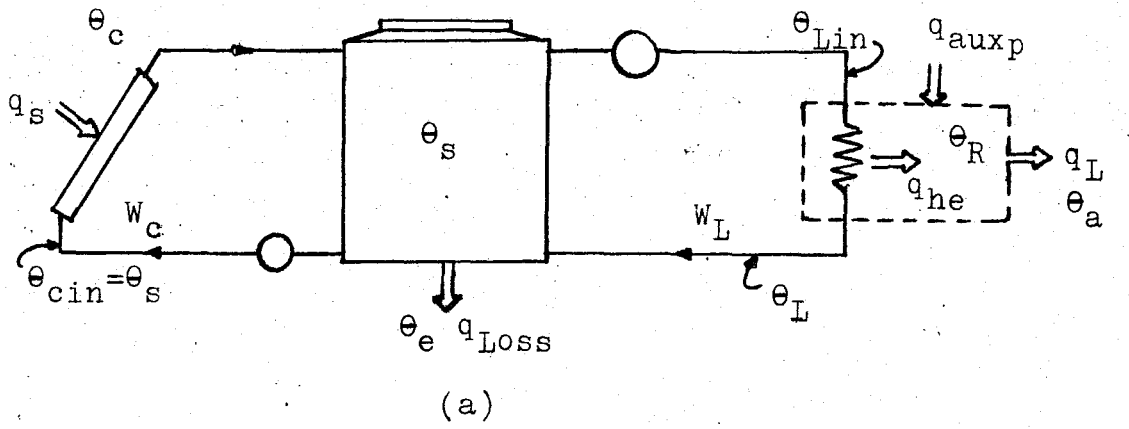
Sistemde toplam beş akış değişkeni vardır. Toplayıcı içinden geçen akış debisi, W_C , ikiye ayrılır ; birisi, W_{CS} , depoya dönen ve diğeri depoyu kısa devre ederek direkt yüke giden, W_{CL} 'dir. Depoya dönen akış debisinin toplayıcıdan geçen akış debisine oranı ile belirtilir, böylece

$$\alpha = \frac{W_{CS}}{W_C} \quad \text{ya da} \quad W_{CS} = \alpha W_C \quad (4.1)$$

yazılır. Yukarıdaki bağıntıyı kullanarak, depoyu kısa devre eden akış debisini yazabiliriz,

$$W_{CL} = (1 - \alpha) W_C \quad (4.2)$$

Kısa devreden sonra, depodan yüke olan, W_{SL} , diğer akış debisi ile birleşir. Bunların toplamı W_L ısı değiştiriciden akar, W_C ve W_{SL} terimleri ile ifade edilir.



Şekil 4.1

$$W_L = (1 - \alpha) W_c + W_{sL} \quad (4.3)$$

4.2.2. Toplayıcı

Hottel, Whiller, ve Bliss tarafından türetilen ve düzlem yüzeyli güneş toplayıcıları için kullanılan matematiksel tanımlama da q_s , enerjinin toplam kullanılabilir kazancı aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$q_s = A_c F_R \left[S - U_L (\theta_{cin} - \theta_c) \right] \quad (4.4)$$

burada,

$$F_R = \frac{W_c}{U_L} \left[1 - \exp \left(- \frac{U_L F'}{W_c} \right) \right] \quad (4.5)$$

şeklinde yazılabilir.

4.2.3 Isı Depolama Tankı

Depo tankı için tek parça modeli,

$$C_c \frac{d\theta_s}{dt} = -W_c \theta_s + W_c \theta_c - W_{sL} \theta_s + W_L \theta_L - q_{Loss} \quad (4.6)$$

olup, buradan,

$$q_{Loss} = h_s (\theta_s - \theta_c) \quad (4.7)$$

$$W_c \theta_c = q_s + W_c \theta_s \quad (4.8)$$

bağıntıları elde edilir.

4.2.4 Seri Yedek Isıtıcı

Yedek ısıtıcıya enerji dengesi uyguladığımızda,

$$W_L \theta_{Lin} = q_{aux_s} + W_{sL} \theta_s + (1 - \alpha) W_c \theta_c \quad (4.9)$$

elde edilir. Burada, q_{aux_s} seri yedek enerji kaynağından çıkan ısı değeridir.

4.2.5 Isı Değiştirici

Isı değiştiricinin matematiksel tanımını elde etmek için, değişikliğin olmadığı durum koşullarını kabul ediyoruz. Bir enerji uyguladığımızda, ısı değiştiriciden bırakılan enerjinin değerini veren, q_{he} 'nin bağıntısını elde ederiz.

$$q_{he} = W_L (\theta_{Lin} - \theta_{Lout}) \quad (4.10)$$

Isı değiştirici etki faktörü, ξ 'e dayanarak enerjinin değeri aşağıdaki gibi olacaktır,

$$q_{he} = \xi W_L (\theta_{Lin} - \theta_R) \quad (4.11)$$

4.2.6 Yük

Yük, tek parça parametre modeli olarak tanımlanır.

Bir enerji dengesi uygulanıp,

$$C_R \frac{d\theta}{dt} = q_{he} - q_L + q_{auxp} \quad (4.12)$$

elde edilir. Burada q_{aux_p} , devreye paralel girmiş yedek enerji kaynağından çekilen ısının değeridir,

$$q_L = h_L (\theta_R + \theta_a) \quad (4.13)$$

olarak yazılır.

Optimal kontrol problemi için, θ_R yük sıcaklığını θ_{Rmin} 'e eşit alacağız ve sınırlayacağız, burada θ_{Rmin} bir sabittir, bundan dolayı,

$$q_{aux_p} + q_{he} = q_L \quad (4.14)$$

sonucunu elde ederiz.

4.3 DURUM BAĞINTILARININ VE KONTROL SINIRLARININ BULUNMASI

Şekil 4.1'de görülen sistem için gerekli matematiksel bağıntılardan, üç ayrı sistem biçiminin ayrı ayrı durum denklemlerini ve kontrol sınırlarını çıkaracağız. [4]

4.3.1 I. Sistem İçin İşlemler.

Şekil 1.a'da görülen düzende yedek ısıtıcı devreye paralel olarak girmektedir. Bundan dolayı,

$$q_{aux} = 0 \quad (4.15)$$

olur. Bu düzenlemede toplayıcıdan yüke doğru olan kısa devre bulunmadığından,

$$\alpha = 1 \quad (4.16)$$

yazılabilir. Bundan başka,

$$\begin{aligned} W_{cs} &= W_c \\ W_{cL} &= 0 \\ W_L &= W_{sL} \end{aligned} \quad (4.17)$$

olarak dikkatimizi çeker.

(4.15) ve (4.16) bağıntıları (4.9) bağıntısında yerlerine konulursa,

$$\theta_{Lin} = \theta_s$$

elde ederiz. (4.6) bağıntısı ile (4.8) ve (4.10) bağıntıları bir araya getirilirse ,

$$C_s \frac{d\theta}{dt} = q_s - q_{he} - q_{Loss}$$

elde ederiz. Bağıntı (4.4), bağıntı (4.7) ve bağıntı (4.11) bu bağıntıda yerlerine koyulursa, durum denklemini elde ederiz.

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{A_c F_R}{C_s} [S - U_L (\theta_s - \theta_a)] - \frac{\xi}{C} W_L (\theta_s - \theta_R) - \frac{h_s}{C_s} (\theta_s - \theta_e) \quad (4.18)$$

Karışık eşitsizlik sınırları (4.14) bağıntısından ve q_{aux} değerinin hiçbir zaman negatif değer olamayacağı düşünülerek bulunur. Matematiksel olarak ,

$$q_{he} \leq q_L$$

ya da

$$W_L(\theta_{Lin} - \theta_R) - \frac{q_L}{\xi} \theta \quad (4.19)$$

sonuçlarını elde ederiz.

4.3.2 II. Sistem için işlemler

İkinci sistemde, şekil 1b , yedek ısıtıcı devreye seri girmiştir, buradan,

$$q_{auxp} = 0 \quad (4.20)$$

yazılır. I. sistemde olduğu gibi toplayıcıdan yüke doğru olan kısa devre burada da yoktur: yani (4.15) ile (4.17) arasındaki bağıntılar bu sistem için kullanılabilir. (4.15) bağıntısı ile (4.9) bağıntısı yalınlaştırılırsa,

$$W_L \theta_{Lin} = q_{auxs} + W_L \theta_s \quad (4.21)$$

elde edilir. Bağıntı (4.10) ve bağıntı (4.11) ile birlikte düşünülürse,

$$q_{auxs} = \frac{q_L}{\xi} - W_L(\theta_s - \theta_R) \quad (4.22)$$

elde edilir.(4.10) ve (4.11) bağıntıları bir araya getirilirse,

$$W_L \theta_L = -\xi W_L (\theta_{Lin} - \theta_R) + W_L \theta_{Lin}$$

bağıntısını elde ederiz.(4.21) bağıntısını kullanarak

$$W_L \theta_L = (1-\xi) q_{auxs} + W_L \theta_s + W_L \theta_R$$

ve bu (4.22) bağıntısında yerine koyulursa şu şekilde yalınlaşır,

$$W_L \theta_L = \frac{1-\xi}{\xi} q_L + W_L \theta_R \quad (4.23)$$

elde edilir.(4.6) ve (4.8) bağıntıları ile birlikte düşülürse,aşağıdaki bağıntıyı elde ederiz.

$$C_s \frac{d\theta}{dt} = q_s + \frac{1-\xi}{\xi} q_L - W_L (\theta_s - \theta_R) - q_{Loss}$$

(4.4) ve (4.7) bağıntılarının bu ifadeye yerine konulması ile durum denklemini elde ederiz.

$$\begin{aligned} \frac{d\theta_s}{dt} &= \frac{q_s}{C_s} + \frac{1-\xi}{\xi} \cdot \frac{q_L}{C_s} - \frac{W_L}{C_s} (\theta_s - \theta_R) \\ &\quad - \frac{h_s}{C_s} (\theta_s - \theta_e) \end{aligned} \quad (4.24)$$

Eğer ayrıca, q_{auxs} 'in sifıra eşit olduğunu kabul edersek benzer bir çözümlenme aşağıda görülen durum denklemini verir.

$$\frac{d\theta_s}{dt} = \frac{A_c F_R}{C_s} [S - U_L(\theta_s - \theta_a)] - \frac{h_s}{C_s} (\theta_s - \theta_e) - \frac{q_L}{C_s} \quad (4.25)$$

4.3.3 III. Sistem İçin İşlemler

III. sistemin özellikleri, toplayıcıdan yüke doğru by-pass ile yedek ısıtıcının devreye paralel girmesidir. Buradan hemen,

$$q_{auxs} = 0 \quad (4.26)$$

yazılır, $\alpha = 0$ olur.

4.26 bağıntısından, (4.9) bağıntısı şu şekilde yalınlaşır,

$$W_L \theta_{Lin} = W_{sL} \theta_s + (1 - \alpha) W_c \theta_c \quad (4.27)$$

Bağıntı (4.6) ile bağıntı (4.10) bir araya getirilirse (4.6) bağıntısı şu şekilde yalınlaşacaktır,

$$C_s \frac{d\theta_s}{dt} = - W_c \theta_s + W_c \theta_c - q_{Loss} - \xi W_L (\theta_{Lin} - \theta_R)$$

Ayrıca bir başka yalınlaştırma, (4.8) bağıntısı ve (4.27) bağıntısında yerine koyulursa başarılır.

$$C_s \frac{d\theta_s}{dt} = [1 - \xi (1 - \alpha)] q_s - q_{Loss} + \xi [W_{SL} + (1 - \alpha)W_C] (\theta_R - \theta_s) \quad (4.28)$$

(4.4) ve (4.7) bağıntılarının yanı sıra yukarıdaki bağıntı da III. sistem için durum denklemini göstermektedir.

4.4 OPTİMAL KONTROL PROBLEMİ

Daha önce bölüm 2.5'de sözü edildiği gibi 'optimallik', oda sıcaklığının ayarlanmış değerinde korunması için gerekli yedek ısı miktarı olarak tanımlanmaktadır. Bu ölçüt bu üç farklı sistem biçimi için kullanılacaktır. Her birinin farklı durum denklemleri ve kontrol kısıtları göz önüne alınarak 'minimum prensibi' ile optimal çözüm yöntemi üzerine de uygulanacaktır.

4.4.1 I. Sistem İçin Optimal Kontrol Probleminin Tanımlanması

Toplam yedek enerjinin minimizasyonu,

$$\text{Minimizasyon} \int_{t_0}^{t_f} q_{aux} dt \quad (4.29)$$

yazılırsa, burada

$$q_{aux_p} = q_L - \xi W (\theta_s - \theta_R) \quad (4.30)$$

durum bağıntısına bağlı olarak şöyle verilir,

$$\frac{d\theta_s}{dt} = \frac{A c^F R}{C_s} [s - U_L(\theta_s - \theta_a)] - \frac{\xi}{C_s} W_L(\theta_s - \theta_R) - \frac{h_s}{C_s}(\theta_s - \theta_e) \quad (4.31)$$

$\theta_s(t_f)$: serbest

ve kontrol eşitsizlik sınırlamaları u şekildedir,

$$W_L \in \mathcal{W}_L \quad \mathcal{W}_L = \{W_L \mid 0 \leq W_L < W_{Lmax}\}$$

$$W_c \in \mathcal{W}_c \quad \mathcal{W}_c = \{W_c \mid \leq W_c < W_{cmax}\} \quad (4.32)$$

ve karışık eşitsizlik sınırı aşağıda verilmektedir.

$$C(\theta_s, W_L, t) = \xi W_L(\theta_s - \theta_R) - q_L \leq 0 \quad (4.33)$$

Bu sınırlamanın etkisi yedek enerji değerini pozitif değerlere sınırlamaktır.

Bu optimal kontrol probleminde W_L ve W_c 'nin iki bağımsız kontrol girişi olduğuna dikkat edelim.

4.4.2 I. Sistemin Çözümü

(4.33) karma eşitsizlik bağıntısı ile (4.31) durum bağıntısı yan yana getirilirse maliyet fonksiyonu, Hamiltonian fonksiyonu, H , şu şekilde tanımlanabilir,

$$\begin{aligned}
H &= L + \lambda^T f + \mu C \\
&= q_L - \xi W_L (\theta_S - \theta_R) + \frac{\lambda}{C_S} \{ A_{cF_R} [S - U_L(\theta_S - \theta_a)] \\
&\quad - \xi W_L (\theta_S - \theta_R) - h_S (\theta_S - \theta_e) \} + \mu \{ \xi W_L (\theta_S - \theta_R) - q_L \} \quad (4.34)
\end{aligned}$$

burada,

$$\mu \begin{cases} > 0, & C=0 \\ =0, & C < 0 \end{cases} \quad (4.35)$$

olarak gözönüne alınmalıdır ve yardımcı durum değişkeni ya da etki fonksiyonu şu şekilde yazılabilir.

$$\begin{aligned}
\lambda &= - \frac{\partial H}{\partial \theta_S} \\
&= \xi W_L + \frac{\lambda}{C_S} (A_{cF_R} U_L + \xi W_L + h_S) - \mu \xi W_L \quad (4.36)
\end{aligned}$$

Eğer son durum, $\theta_S(t_f)$ tanımlı değilse, için son koşul,

$$\lambda(t_f) = 0$$

olarak verilir.

Bundan sonra λ 'in ilişkisini, t_0 , ilk zamanından, t_f , son zamanına doğru belirleyecek olursak aşağıda görülen biçimiyle yazılır,

$$-C_S < \lambda \leq 0, \quad \forall t \in (t_0, t_f) \quad (4.37)$$

Kontrol girişi, W_L , iki tip sınırlamayı zorunlu kılar, bir karışık eşitsizlik sınırlaması, bağıntı (4.33), ve bir kontrol eşitsizlik sınırlaması, bağıntı (4.32), her durumu ayrı ayrı gözönüne almak zorundayız.

Kontrol eşitsizlik sınırlamasının t_i 'den t_{i+1} ' e aktif olduğu, ancak karışık eşitsizlik sınırlamasının aktif olmadığı durumda, μ , Lagrange çarpanı 0'dır, bundan dolayı yardımcı durum bağıntısı,

$$\dot{\lambda} = W_L + \frac{\lambda}{C_s} (A_c F_R U_L + \xi W_L + h_s) \quad (4.38)$$

yazılabilir biçimde yalınlaşacaktır ve

$$\dot{\lambda} \begin{cases} > 0, & \lambda > a \\ = 0, & \lambda = a \\ < 0, & \lambda < a \end{cases}$$

yazılabilir ki, burada a , şu biçimde ifade edilir,

$$a(W_L) = \frac{C_s}{1 + \frac{A_c F_R U_L + h_s}{W_L}}$$

Kontrol eşitsizliği bağıntısı anımsanırsa, (4.32),

$$\min a = \inf a = a(W_L = W_{Lmax}) > -C_s$$

$$\sup a = a(W_L = 0) = 0$$

olduğu görülür.

Bundan başka ,(4.38). yardımcı durum bağıntısı geriye doğru kararlıdır; bu nedenle, eğer λ t_{i+1} ' de ise,

$$\min a \leq (t_{i+1}) < 0$$

yazılabilir ve λ şöyle olacaktır,

$$-C < \min a < \lambda(t) < 0, \quad \forall t \in (t_i, t_{i+1})$$

Karışık eşitsizlik sınırlamasının t_i 'den, t_{i+1} 'e aktif olduğu, ancak kontrol eşitsizlik sınırlamasının aktif olmadığı diğer durumu gözönüne alacak olursak, W_L aşağıdaki biçimiyle yazılır,

$$W_L = \frac{q_L}{(\theta_S - \theta_R)}$$

(μ) Lagrange çarpanı, H' nin W_L ve H_{W_L} 'ye göre kısmi türevi alınıp sifıra eşitlendiğinde elde edilir,

$$\mu = 1 + \frac{\lambda}{C_S}$$

Bu ifadenin yardımcı durum bağıntısında yerine konmasıyla (4.36) bağıntısı şu şekilde yalınlaşır,

$$\lambda = \frac{\lambda}{C_S} (A_C F_R U_L + h_S)$$

Yardımcı durum denklemini tersine kararlı olduğu sürece, sonra eğer λ , t_{i+1} de negatif ise, λ şöyle olacaktır,

$$\lambda(t) \leq 0, \quad \forall t \in (t_i, t_{i+1})$$

λ 'nin son koşulundan geriye doğru hareket ederek birleşme değerleri üzerinden λ 'nın sürekliliği kullanılarak her parçanın birleştirilmesi ile λ 'nın davranışını bir araya getirirsek aşağıdaki sonucu elde ederiz,

$$-c_s < \lambda \leq 0, \quad \forall t \in (t_0, t_f)$$

Optimalliğin geliştirilmesinde ilerlerken, W_L kontrol girişinden önce W_C kontrol girişi ile başlayalım. Her ikisi için (4.37) bağıntısı ile verilen koşullar kullanılmıştır.

Kontrol girişi W_C 'yi incelerken, F_R 'in önemine dikkat edelim, W_C 'nin tekdüze artan bir fonksiyonudur ve negatiftir. Hamiltonian'a (4.34), minimum prensibi uygulanırsa,

$$W_{C \text{ opt}} \begin{cases} = W_{C \text{ max}} & , \quad q_s > 0 \\ = 0 & , \quad q_s < 0 \end{cases} \quad (4.39)$$

elde edilir,

İkinci kontrol girişi W_L 'i göz önüne aldığımızda, optimallik türetmesini iki ayrı durumda inceliyoruz ve her biri farklı kontrol sınırlamaları ile işlem görür.

Birinci durumda W_L (4.32) bağıntısında verilen

- kontrol eşitsizlik sınırlamalarının etkisi altındadır. Hamiltonian fonksiyonuna minimum prensibinin uygulanmasıyla,

$$W_L^{\text{opt}} \begin{cases} = W_{L\text{max}} & , H_{W_L} < 0 \\ = 0 & , H_{W_L} > 0 \end{cases}$$

elde edilir, burada,

$$H_{W_L} = -\xi \left(1 + \frac{\lambda}{C_S} \right) (\theta_S - \theta_R)$$

yazılır. Ancak (4.37) bağıntısından, birinci parantez içerisindeki terimin her zaman pozitif olduğuna dikkat edersek,

$$W_L^{\text{opt}} \begin{cases} = W_{L\text{max}} & , \theta_S > \theta_R \\ = 0 & , \theta_S < \theta_R \end{cases} \quad (4.40)$$

sonucunu elde ederiz.

Hamiltonian fonksiyonunun, bağıntı (4.34), W_L ile doğrusal olduğunun farkına varırsak, tekli kontrol gerçekleşebilir. Ancak bununla birlikte,

$$H_{W_L} \neq 0$$

olduğu da görülebilir, bu nedenle tek yayların varlığını da önüne alıp hesaba katmalıyız.

İkinci durum da ise, W_L kontrol girişi karışık eşit-

sizlik sınırlamasının etki'si altındadır. Bu sınırlama hareketi ile aşağıdaki eşitlikte kontrol girişi görülmektedir.

$$W_L^{opt} = \frac{q_L}{\xi(\theta_S - \theta_R)} \quad (4.41)$$

4.4.3 II, Sistem İçin Optimal Kontrol Probleminin Tanımlanması

Toplam yedek ısının minimizasyonu,

$$\text{Minimizasyon} \int_{t_0}^{t_f} q_{aux_S} dt \quad (4.42)$$

yazılır, burada,

$$q_{aux_S} = \frac{q_L}{\xi} - W_L (\theta_S - \theta_R) \quad q_{aux_S} \gg 0 \quad (4.43)$$

olup, aşağıda verilen durum bağıntısını etkiler,

$$\begin{aligned} \frac{d\theta_S}{dt} = & \frac{A_{cFR}}{C_S} [S - U_L(\theta_S - \theta_a)] + \frac{1 - \xi}{\xi} \cdot \frac{q_L}{C_S} - \frac{W_L}{C_S} (\theta_S - \theta_R) \\ & - \frac{h_S}{C_S} (\theta_S - \theta_e) \end{aligned} \quad (4.44)$$

$\theta_S(t_f)$: serbest

ve kontrol eşitsizliği sınırlaması şu şekildedir,

$$\begin{aligned}
 & W_L \in \{W_L | 0 \leq W_L \leq W_{Lmax}\} \quad q_{aux_s} = 0 \text{ için} \\
 & q_{aux_s} \rightarrow 0 \text{ için } W_L \in \{W_L | 0 < W_{Lmin} \leq W_L \leq W_{Lmax}\} \quad (4.45) \\
 & W_C \in \{W_C | 0 \leq W_C \leq W_{Cmax}\}
 \end{aligned}$$

İkinci bağıntıda, maksimum sıcaklığın sınırlarını aşmaması için, W_L 'ye sonlu alt sınır koyarız. Diğer karışık eşitlik sınırı ise şu şekildedir,

$$q_{he} = \xi W_L (\theta_{Lin} - \theta_R) = q_L \quad (4.46)$$

4.4.4 II. Sistemin Çözümü

İkinci sistemde gözönüne alınması gereken iki durum vardır. Birincisi, q_{aux} 'ün pozitif değerde olduğu durumdur. Diğer durumda güneş ısı sistemi, yedek enerji kullanımına gerek duymaksızın yükün ısı istemini karşılayabilmektedir.

q_{aux} 'un pozitif olduğu durumda, H , Hamiltonian fonksiyonu şöyle verilmektedir,

$$\begin{aligned}
 H &= L + \lambda^T f \\
 &= \frac{q_L}{\xi} - W_L (\theta_s - \theta_R) + \frac{\lambda}{C_s} \left[q_s - n_s (\theta_s - \theta_e) \right. \\
 &\quad \left. + \frac{1 - \xi}{\xi} q_L - W_L (\theta_s - \theta_R) \right] \quad (4.47)
 \end{aligned}$$

,etki fonksiyonunun tanımı ise şu şekildedir,

$$\dot{\lambda} = W_L + \frac{\lambda}{C_S} (A_C F_R U_L + h_S + W_L) \quad (4.48)$$

Eğer q_{aux_S} sıfır ise H ,

$$H = \frac{\lambda}{C_S} [q_S - h_S (O_S - O_e) - q_L] \quad (4.49)$$

biçiminde yazılır, λ şu şekilde verilmektedir,

$$\dot{\lambda} = \frac{\lambda}{C_S} (A_C F_R U_L + h_S) \quad (4.50)$$

Son durum belirli değilse, λ 'in son koşulu için

$$\lambda(t_f) = 0$$

yazılır.

Birinci sistem gibi benzer bir mantıkla, λ 'nın aşağıdaki koşulları sağlayabileceği görülebilir,

$$-C_S < \lambda \leq 0 ; \forall t \in (t_0, t_f)$$

Sonuç olarak minimum prensibinin uygulanmasıyla W_C için önceki aynı optimal çözümü elde ederiz,

$$W_C^{opt} \begin{cases} = W_{Cmax} & , q_S \gg 0 \\ = 0 & , q_S < 0 \end{cases} \quad (4.51)$$

W_L için q_{aux_S} 'nin önce pozitif olduğu durumu inceleyelim. H 'nin W_L, H_{W_L} 'ye göre kısmi türevlerini hesaplırsak

$$H_{W_L} = -(\theta_S - \theta_R) \left(1 + \frac{\lambda}{C_S} \right)$$

Optimal çözüm için minimum prensibini uygularsak,

$$W_{Lopt} \begin{cases} = W_{Lmax} & , H_{W_L} < 0 \\ = W_{Lmin} & , H_{W_L} > 0 \end{cases} \quad (4.52)$$

elde edilir ya da (4.37) bağıntısını kullanarak,

$$W_{Lopt} \begin{cases} = W_{Lmax} & , \theta_S > \theta_R \\ = W_{Lmin} & , \theta_S < \theta_R \end{cases}$$

biçiminde de elde edilebilir.

Yedek enerji, q_{aux_S} , sıfır olduğu durumda, W_L şöyle verilir,

$$q_{aux_S} = 0 = \frac{q_L}{\xi} - W_L(\theta_S - \theta_R)$$

bunu yeniden düzenlersek,

$$W_L = \frac{q_L}{\xi(\theta_S - \theta_R)}$$

bağıntısı elde edilir.

4.4.5 III. Sistem İçin Optimal Kontrol Probleminin Tanımlanması

Toplam yedek ısının minimize edilmesi,

$$\text{Minimizasyon} \int_{t_0}^{t_f} q_{aux} dt \quad (4.53)$$

burada,

$$q_{auxp} = q_L - \xi(1-\alpha)q_s + \xi W_L(\theta_R - \theta_s) \quad (4.54)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\theta_s}{dt} = & [1 - \xi(1-\alpha)] \frac{A_c F_R}{C_s} [S - U_L(\theta_s - \theta_a)] - \frac{h_s}{C_s} (\theta_R - \theta_s) \\ & + \frac{\xi}{C_s} [W_{sL} + (1-\alpha)W_c] (\theta_R - \theta_s) \quad \theta_s(t_f): \text{serbest} \end{aligned} \quad (4.55)$$

verilmektedir ve kontrol eşitsizlik sınırlamaları I. sistemin aynısıdır,

$$W_L \in W_L \quad \text{ve} \quad W_c \in W_c \quad (4.56)$$

ve bir karışık eşitsizlik sınırlaması,

$$\xi [W_{sL} + (1-\alpha)W_c] (\theta_s - \theta_R) + (1-\alpha)q_s - q_L \leq 0 \quad (4.57)$$

biçiminde verilmektedir.

4.4.6 Optimal Çözüm (III. Sistem İçin)

Toplayıcıdan yüke doğru olan kısa devreyi içeren

III. sistem için, H, Hamiltonian fonksiyonunu,

$$H = L + \lambda^T f + \mu C$$

$$\begin{aligned}
& = (1-\mu) \left[q_L - \xi \{ (W_{SL} + (1-\alpha)W_C) (\theta_S - \theta_R) + (1-\alpha)q_S \} \right] \\
& + \frac{\lambda}{C_S} \left[-\xi (W_{SL} + (1-\alpha)W_C) (\theta_S - \theta_R) + (1-\xi(1-\alpha))q_S - q_{Loss} \right] \quad (4.58)
\end{aligned}$$

Son durum belirlenmemişse, etki fonksiyonu için son koşul,

$$\lambda(t_f) = 0$$

alınır. Sınırlamanın aktif olduğu durumdan ayrı, aktif olmadığı duruma inceleyelim. Sınırlama aktif olmadığında Lagrange çarpanı, λ , sıfırdır, şu biçimde verilmektedir,

$$\begin{aligned}
\lambda & = \frac{\partial H}{\partial \theta_S} \\
& = \xi \left[(W_{SL} + (1-\alpha)W_C) - (1-\alpha)A_C F_R U_L \right] \\
& + \frac{\lambda}{C_S} \left[\xi (W_{SL} + (1-\alpha)W_C) + (1-\xi(1-\alpha))A_C F_R U_L + h_S \right] \quad (4.59)
\end{aligned}$$

Burada birinci köşeli parantez içersindeki niceliğin negatif olamayacağını kabul ediyoruz. Bu varsayım, iyi ışınım alan toplayıcılarda ısı kaybı ihmal edildiğinden, kabul edilebilir.

Eğer sınırlama aktif ise, Bryson ve Ho'dan,

$$H_{WSL} = 0$$

sağlanır, buradan da,

$$1 + \frac{\lambda}{C_S} - \mu = 0$$

elde edilir, böylelikle yardımcı durum faktörü aşağıdaki biçimiyle yalınlaşır

$$\dot{\lambda} = \frac{\lambda}{C_S} (A_{cFR} U_L + h_S) \quad (4.60)$$

Son koşuldan ve λ 'nın sürekliliğinden, ters integrasyonla

$$-C_S < \lambda \leq 0$$

elde edilir.

w_c için optimal kontrolü elde etmek için, sınırlamalarla oluşan her iki durumda Hamiltonian 'a minimum prensibini uyguluyoruz, sınırlanmamış durum için,

$$H_{WL} = -\xi \left(1 + \frac{\lambda}{C_S} \right) (1-\alpha) (\theta_S - \theta_R) + \left[\frac{\lambda}{C_S} - \xi \left(1 + \frac{\lambda}{C_S} \right) (1-\alpha) \right] \frac{\partial q_S}{\partial w_c} \quad (4.61)$$

ve sınırlanmış durum için,

$$H_{w_c} = \frac{\lambda}{C_S} \frac{\partial q_S}{\partial w_c} \quad (4.62)$$

elde edilir, buradan,

$$W_c^{opt} \begin{cases} = W_{cmax} & , q_s > 0 \\ = 0 & , q_s < 0 \end{cases} \quad (4.63)$$

sonucu elde edilir.

Benzer biçimde α için minimum prensibinin uygulanması, sınırlanmamış durum için,

$$H_\alpha = \xi \left(1 + \frac{\lambda}{C_s} \right) (W_c (\theta_s - \theta_R) + q_s) \quad (4.64)$$

elde ederiz ve aşağıdaki biçimiyle sonuçlanır.

$$H_\alpha^{opt} \begin{cases} = 0 & , q_s > 0 \\ = 1 & , q_s < 0 \end{cases} \quad (4.65)$$

Sınırlanmış durum için optimal çözüm yoktur, çünkü H_α , sifıra eşitlenir.

Son olarak W_L için minimum prensibini uygularsak, sınırlanmamış durumda,

$$H_{WL} = -\xi \left(1 + \frac{\lambda}{C_s} \right) (\theta_s - \theta_R) \quad (4.66)$$

elde edilir, bundan dolayı,

$$W_L^{\text{opt}} \begin{cases} = W_{L\text{max}} & , \theta_s > \theta_R \\ = 0 & , \theta_s < \theta_R \end{cases} \quad (4.67)$$

elde edilir. Bununla birlikte sınırlanmış durum için, sınırlamanın eşitliği aşağıdaki biçimde olacaktır.

$$W_L = \frac{\frac{q_L}{\xi} - q_s(1-\alpha)}{(\theta_s - \theta_R)} \quad (4.68)$$

5. B Ö L Ü M

S O N U Ç

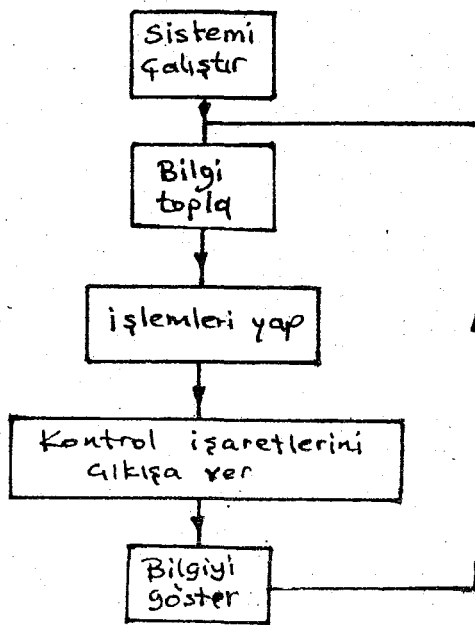
Güneş ısı sistemi uygulamalarında yedek enerji kullanımının anlamlı en alt sınırını hesaplamak için bir yöntem sunulmuştur. Bu yöntemin kuramsal güneş sistemine uygulanması, daha önce yapılan basitleştirmelerin, hesaplama sonuçlarını ciddi biçimde etkilemediğini göstermiştir.

Minimum yük sıcaklığı ayar özellikleri gözönüne alınarak, iki oransal ve iki açık-kapalı kontrolörün karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda oransal çalışan kontrolörlerin gerçekte yedek enerji kullanımı konusunda optimal çalışmayı sağlayabilecek yetkinlikte oldukları görülmüştür. Açık- kapalı kontrolörler minimum yük sıcaklığı özelliklerini karşılayabilmek için daha yüksek yük sıcaklığı ortalamasında çalışmayı gerektirmektedirler. Bunun sonucu olarak sistemin ısı yükü artarken, top- yıcı verimliliği düşmektedir. Bu nedenlerle bu tip kontrolör- lerin çalışması optimumdan uzak gerçekleşmektedir.

Bu kontrolörler analog elektronik , dijital elekt- ronik ya da mikroişlemcilerle gerçekleştirilebilir. Mikro- işlemciler ile gerçekleştirilmek istendiğinde, sistemden bil- gi toplanır. Toplanan bu bilgiler, belirli bir örnekleme za- manı ile mikroişlemcinin (ya da mikrobilgisayarın) MİB, merkezi işlem birimine, optimal çözümün sağlanmasına yönelik işlemler yapması için girilir. Fiziksel büyüklükler olan bu

bilgiler önce elektriksel büyüklüklere algılayıcılarla (sensor) dönüştürüldükten sonra, analog-digital çeviricilerle bu kez mikrobilgisayarın kabul edebileceği işaretlere çevrilir. İstenilen işlemlerin yaptırılabilmesi için, komutlardan oluşan yazılıma gerek vardır. Bu yazılımın dili yüksek seviye makina dili olup mikroişlemcinin tipine göre farklılıklar gösterir. Şekil 5.1'de basitleştirilmiş yazılım akış diyagramı görülmektedir. Merkezi işlem ünitesinin ürettiği işlem sonuçları çıkış ara devresi ile (interface) dış ortama aktarılır. Bu ara devresinin temeli D/A, digital-analog çeviricidir. Bundan sonra kontrol elemanlarının çalışmasını sağlayan analog ya da analog-digital karışık oluşturulmuş devrelerle, sisteme, istenildiği biçimde müdahale edilir.

Piyasada yalnız yazılım gerektiren, genel amaçlı mikro-işlemci tabanlı kontrolörler, uygun koşullarda sağlanabilmektedir.



Şekil 5.1 Basitleştirilmiş yazılım blok diyagramı

K A Y N A K Ç A

- (1) Dorato, P. , Optimal Temperature Control of Solar Energy Systems, Solar Energy, Vol. 20, No.2 p. 147-150 .
- (2) Tyuluman, A.S. , A Microprocessor Based System for the Monitoring and Control of a Solar Installation, IEEE Transactions on Industrial Electronics and Control Instrumentation. , Vol. IECI-27, NO.1, Feb., 1980
- (3) Auslander, D.M., Takahashi, Y., Rabins, J.M., Introducing Systems and Control., Mc.Graw-Hill, 1974
- (4) Auslander, D.M., Tomizuka, M., Lee, H., An Optimal Standard for Solar Heating Systems, Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, Vol.101, p. 138-149 June 1979
- (5) Sarıoğlu M.K. , Optimal Control Theory , YL. Ders Notu, İTÜ, 1985 .
- (6) TÜRKİYE ÇEVRE SORUNLARI VAKFI , Türkiyenin yeni ve Temiz Enerji Kaynakları, Ankara, 1985.
- (7) Lankewitz, F., Regelungskonzepte für Solar Anlagen, Informationswerk Sonnen Energy, Band III,

Ö Z G E Ç M İ Ő

Ferdi Boynak, 1958 yılında Zonguldak'ta doğdu. İlköğrenimini sırasıyla, Erdemir İlkokulu, Kavaklıdere İlkokulu, Gönen Koleji'nde yaptı (1965-70). Ortaöğrenimini Ereğli Lisesi ve Ankara Cumhuriyet Lisesi ortaokullarında (1970-73), liseyi Ankara Yenimahalle Endrüstri Meslek ve Teknik Lisesi ve Karadeniz Ereğli Endrüstri Meslek Lisesi'nde (1974-77) okudu. 1977'de Ankara Yüksek Teknik Öğretmen Okulu Elektronik Bölümü'ne girerek 1982'de mezun oldu. 1983 yılından bu yana Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.