

**EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
(DOKTORA TEZİ)**

**HAVA AKIŞKANLI GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİNİN
ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ İLE
MODELLENMESİ**

Abdullah YILDIZ

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu : 625.03.00

Sunuş Tarihi : 11.06.2009

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ali GÜNGÖR

Bornova-İZMİR

Abdullah YILDIZ tarafından DOKTORA tezi olarak sunulan “Hava Akışkanlı Güneş Kolektörlerinin Enerji ve Ekserji Analizi ile Modellenmesi” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 11 Haziran 2009 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/~~oyçokluğu~~ ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı :Prof. Dr. Ali GÜNGÖR

Raportör Üye: Prof. Dr. Necdet ÖZBALTA

Üye : Prof. Dr. Ramazan KÖSE

Üye : Doç. Dr. Serhan KÜÇÜKA

Üye : Yrd. Doç. Dr. Özay AKDEMİR

ÖZET**HAVA AKIŞKANLI GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİNİN
ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ İLE
MODELLENMESİ**

YILDIZ, Abdullah

Doktora Tezi, Makina Mühendisliği Bölümü

Tez Yöneticisi: Prof. Dr. Ali GÜNGÖR

Haziran 2009, 431 sayfa

Dünya üzerinde yaşanan küresel ısınma ve iklim değışiklikleri, temiz enerji kaynaklarına duyulan gereksinimi günden güne artırırken, yaşanan enerji krizleri de alternatif enerji kaynaklarına yönelime sebep olmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi olan güneş, literatürde geniş bir şekilde çalışılmıştır. Güneş kolektörleri, üzerine gelen güneş ışımasını kullanılabilir enerjiye dönüştüren ısı sistemlerdir. Kullanılabilir enerjide olan kayıplar termodinamiğin ikinci yasası ile ifade edilir. Termodinamiğin birinci yasası (enerji analizi) tek başına ısı üretim süreçlerinin davranışlarını incelemek için yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, ısı sistemlerdeki verimliliği daha iyi tanımlayabilmek için termodinamiğin ikinci yasa (ekserji) analizinin de yapılması gerekmektedir. Ekserji, tersinmez sistemlerdeki veya süreçlerdeki entropi üretiminden kaynaklanan kullanılabilir enerjideki kayıp veya bir sistem referans çevre sıcaklığı ile eşit duruma geldiğinde sistem tarafından üretilen maksimum iş miktarı olarak tanımlanır. Ekserji, enerji gibi bir korunum kanunu değildir, aksine herhangi bir gerçek süreçteki

tersinmezliklerden dolayı ekserjinin tüketileceğini veya kaybolacağını ifade eder.

Bu çalışmada, kararlı koşullar altında çalışan üç farklı hava akışkanlı güneş kolektörünün enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Analizde, izotermal ve nonizotermal olmak üzere iki metot kullanılmıştır. Kolektörlerin matematiksel modellenmesinde en önemli kriter uygun Nusselt sayısının belirlenmesidir. Nonizotermal modelde, literatürden alınan bağıntılar kullanılarak kolektör boyunca sıcaklık dağılımı sonlu farklar yöntemiyle çözülmüştür. Deney ölçümleri ile teorik çözümler karşılaştırılmış ve deneysel veriler ışığında modeller oluşturulmuştur. Teorik ve model sonuçlarının geçerliliği istatistiksel hata analizleri ile ortaya konulmuştur.

Deney düzeneği Ege Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde tasarlanmış ve kurulmuştur. Kolektör verim deneyleri farklı kütleli debiler için yapılmış ve modeller deneysel verilere göre analiz edilmiştir. İzotermal ve nonizotermal modele göre kolektörler için uygun bağıntılar çıkartılmış ve öneriler verilmiştir.

Anahtar sözcükler: Hava akışkanlı güneş kolektörleri, ekserji, entropi, matematiksel modelleme, Nusselt sayısı bağıntıları

ABSTRACT**MODELLING OF SOLAR AIR COLLECTORS
WITH ENERGY AND EXERGY
ANALYSIS**

YILDIZ, Abdullah

Ph.D. Thesis, Mechanical Engineering Department

Advisor: Prof. Dr. Ali GÜNGÖR

June 2009, 431 pages

While global warming and climate change is day by day increasing the demand on the clean energy sources, the energy crises are also causing an inclination towards alternative energy sources. Solar energy which is one of the renewable energy sources has been extensively studied in the literature. Solar collectors are thermal systems converting the incident solar radiation into usable energy. The losses occurring in the availability of energy is defined by the second law of thermodynamics. First law of the thermodynamics alone is not adequate in gaining a full understanding of all the important aspects of energy product processes. Therefore, second law of thermodynamics (exergy) analysis is must have for a better to describe efficiencies in the thermal systems. Exergy is the losses of the availability energy due to entropy production in the irreversible system or processes or also defined as the maximum amount of work which can be produced by a system as it comes to equilibrium with a reference environment. Unlike energy, exergy is not subject to a conservation law (except for ideal or reversible

processes) and exergy is consumed or destroyed, due to irreversibility in any real process.

In this study, the energy and exergy analyses of three different solar air collectors were carried out under steady state conditions. In these analyses two different methods; namely isothermal and non-isothermal were used. The most important criterion in the mathematical modeling of the solar air collectors was the selection of the Nusselt number. In the non-isothermal model, the temperature distribution along the collectors was solved by finite difference method by the help of correlations taken from the literature. The experimental and theoretical results were compared and models were formed based on the experiments. The compatibility of the model and theory were tested by statistical error analyses.

The test stand was designed and constructed in the Ege University Mechanical Engineering Department. Collector efficiency tests were conducted for various mass flow rates and models were analyzed according to experimental data. Correlations and suggestions for solar air collectors according to isothermal and non-isothermal models are given.

Keywords: Solar air collectors, exergy, entropy, mathematical modeling, Nusselt number correlations.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma süresince değerli görüşlerini ve desteğini esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Ali GÜNGÖR'e, tez izleme ve sınav komitesi üyeleri Prof. Dr. Necdet ÖZBALTA, Doç. Dr. Serhan KÜÇÜKA, Prof. Dr. Ramazan KÖSE ve Yrd. Doç. Dr. Özay AKDEMİR'e, E.Ü Bilimsel Araştırma Projeleri Şube Müdürlüğü'ne ve maddi, manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	V
ABSTRACT	VII
TEŞEKKÜR.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XIX
ÇİZELGELER DİZİNİ	LXXI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	LXXXI
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	7
3. HAVA AKIŞKANLI GÜNEŞ KOLEKTÖRÜ TİPLERİ	17
3.1 Konvansiyonel Düzlemsel Levha Yutuculu Kolektörler	17
3.2 Kanatçık Levha Yutuculu Kolektörler	18

İÇİNDEKİLER(Devam)

Sayfa

3.3	Kıvrımlı Levha Yutuculu Kolektörler	18
3.4	Matris Yutucu Levhalı Kolektörler	20
3.5	Üst üste Yerleştirilmiş Geçirgen Levhalı Kolektörler.....	21
4.	YÜZEYLERİN MALZEME VE IŞINIM KARAKTERLERİNİN OPTİK ÖZELLİKLERİ	23
4.1	Saydam Örtü Optik Özellikleri	23
4.2	Yutucu Levha Optik Özellikleri.....	25
4.3	Yalıtım Malzemeleri Optik Özellikleri	27
4.4	Sızdırmazlık Malzemeleri Optik Özellikleri.....	28
5.	HAVA AKIŞKANLI GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİNİN MODELLENMESİ	31
5.1	İzotermal Modele Göre Kolektörlerin Termodinamik Analizi .	31
5.1.1.	İzotermal model enerji analizi.....	31

İÇİNDEKİLER(Devam)

Sayfa

5.1.2	İzotermal model ekserji analizi	34
5.2.	Nonizotermal Modele Göre Kolektörlerin Termodinamik Analizi	37
5.2.1.	Tek hava kanallı kolektörlerin nonizotermal enerji analizi	39
5.2.2.	Çift hava kanallı kolektörlerin nonizotermal enerji analizi	43
5.2.3.	Hava akışkanlı kolektörlerin nonizotermal ekserji analizi	48
5.2.4.	Işınım ve ısı transfer katsayılarının belirlenmesi	55
5.2.5.	Havanın fiziksel özellikleri	61
5.3.	Hava Akışkanlı Güneş Kolektörlerinin Sonlu Farklar Metodu ile Matematiksel Çözümü.....	63
5.4.	Hava Akışkanlı Güneş Kolektörlerinde Basınç Düşümü.....	66
6.	HAVA AKIŞKANLI GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİNİN TESTİ.....	67
6.1	Kolektör Verim Testleri	68

İÇİNDEKİLER(Devam)Sayfa

6.2	EN 12975-2 ve ASHRAE 93-2003 Standartlarına Göre Hava Akışkanlı Güneş Kolektörlerinin Testi	70
6.3	Güneş Kolektörlerinin Isıl Verimlerinin Değerlendirilmesi	73
7.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	79
7.1	Ölçüm Cihazları ve Özellikleri	80
7.1.1	Sıcaklık Ölçümü.....	81
7.1.2	Hava debisi ve basınç düşümü ölçümü	84
7.1.3	Güneş ışıınımı ölçümü	86
7.2	Belirsizlik Analizi	88
7.3	Seçici Yüzey Yutucu Levhalı Kolektörün Deneysel ve Teorik Sonuçları	91
7.3.1	Deney no: 1 ve 2	94
7.3.2	Deney no: 1 ve 2	94
7.3.3	Deney no: 5 ve 6	120

İÇİNDEKİLER(Devam)Sayfa

7.3.4	Deney no: 7 ve 8	133
7.3.5	Deney no: 9 ve 10	146
7.4	Galvaniz Oluk Yüzey Yutucu Levhalı Kolektörün Deneysel ve Teorik Sonuçları.....	159
7.4.1	Deney no: 11	162
7.4.2	Deney no: 12	170
7.4.3	Deney no: 13.....	178
7.4.4	Deney no: 14.....	186
7.4.5	Deney no: 15.....	194
7.5	Tek Hava Kanallı Düzlemsel Kolektörün Deneysel ve Teorik Sonuçları	202
7.5.1	Deney no: 16	205
7.5.2	Deney no: 17	212
7.5.3	Deney no: 18	219
7.5.4	Deney no: 19	226

İÇİNDEKİLER(Devam)

Sayfa

7.5.5	Deney no: 20	233
8.	HAVA AKIŞKANLI KOLEKTÖRLERDE MODELLERİN OLUŞTURULMASI	241
8.1	Çift Hava Kanallı Kolektörlerin Modellenmesi	241
8.1.1	Seçici yüzeyli kolektörlerin modellenmesi	244
8.1.2	Kıvrımlı galvaniz oluk yüzeyli kolektörlerin modellenmesi	251
8.2	Tek hava kanallı kolektörlerin modellenmesi	255
8.3	Kolektörlerde Basınç Düşümünün ve Sürtünme Faktörü Katsayısının Modellenmesi	260
8.4	Hava Akışkanlı Güneş Kolektörünün Model Sonuçları.....	275
8.4.1	Seçici yüzeyli kolektörün model sonuçları	275
8.4.2	Kıvrımlı galvaniz oluk yüzeyli kolektörün model sonuçları	293
8.4.3	Düzlemsel kolektörün model sonuçları	305

İÇİNDEKİLER(Devam)Sayfa

8.5	Kolektörler İçin Geliştirilen Model Sonuçlarının İstatistiksel Analizi	318
8.6	Kolektörlerin Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	323
9.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	329
	YARARLANILAN KAYNAKLAR.....	333
	ÖZGEÇMİŞ	347

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Basit düzlemsel levha yutuculu kolektör	18
3.2 Kanatçık yutuculu hava ısıtıcı	19
3.3 Kıvrımlı levha yutucu (a) Akış yönüne dik kesit görünüşü (b) Akış boyunca kesit görünüşü (c) Kıvrımlı yutucu ve alt levhanın şematik görünüşü	19
3.4 Matris yutucu levhalı hava akışkanlı kolektör	20
3.5 Üst üste yerleştirilmiş geçirgen levhalar	21
5.1. Çevre ortama ısı kayıplı kolektörün modellenmesi.....	32
5.2 Boyutsuz kolektör sıcaklığına bağlı kolektör birinci yasa verimi	34
5.3 Bir kolektördeki enerji, entropi ve ekserji akışı	35
5.4 Boyutsuz kolektör sıcaklığına bağlı kolektör ikinci yasa verimi	37

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.5 Tek hava kanallı düzlemsel güneş kolektörü.....	39
5.6 Tek hava kanallı kolektör için elektrik benzeşim ağı	40
5.7 Akış boyunca eleman üzerindeki enerji dengesi	41
5.8 Çift hava kanallı düzlemsel güneş kolektörü.....	44
5.9 Çift hava kanallı kolektör için elektrik benzeşim ağı	45
5.10 Hava ısı iletim katsayısının ortalama akışkan sıcaklığına bağlı değişimi	62
5.11 Hava yoğunluğunun ortalama akışkan sıcaklığına bağlı değişimi	62
5.12 Hava dinamik viskozitesinin ortalama akışkan sıcaklığına bağlı değişimi	63
5.13 a) Tek hava kanallı b) Çift hava kanallı kolektörlerin matematiksel modellemesinde kullanılan sonlu fark çözümleme şeması	64

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.1 Isı transfer akışkanı olarak hava kullanıldığında bir güneş kolektörü için test düzeneği	72
6.2 Kolektörlerin doğrusal birinci yasa verimleri	75
6.3 Kolektör ikinci dereceden birinci yasa verimleri	77
7.1 Hava debisi ve sıcaklık kontrol paneli	80
7.2 Kanaldaki hava, yutucu levha ve cam örtü üzerindeki sıcaklıkların ölçümünde kullanılan j tipi ısı çift ve veri toplama cihazı	81
7.3 Dış ortam sıcaklığı ve rüzgâr hızı ölçümünde kullanılan mini pervane anemometre	82
7.4 Üst ve alt hava kanalı içindeki ölçüm sensörlerinin yerleşim şeması	83
7.5 Yutucu levha ve cam örtü üzerindeki ölçüm sensörlerinin yerleşim şeması	83

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.6	Kolektöre giren hava debisini belirlemek için hız ölçümü yapılan bölge 84
7.7	Hava debisi ölçüm noktaları 85
7.8	Deneylerde kullanılan 350 m ³ /h debili fan 85
7.9	Hava hızını ve basınç düşümünü ölçmek için kullanılan hot wire anemometre, basınç ölçüm boruları ve veri toplam cihazı 86
7.10	Deneylerde ısınımı ölçmek için kullanılan piranometre ve dijital multimetre..... 87
7.11	Seçici yüzeyli kolektörde sıcaklık sensörlerinin yerleşimi..... 91
7.12	Seçici yüzeyli hava akışkanlı güneş kolektörü test düzeneği 92
7.13	Deney No:1 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)..... 96

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.14 Deney No:1 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)	96
7.15 Deney No:1 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)	97
7.16 Deney No:1 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)	97
7.17 Deney No:1 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00).....	98
7.18 Deney No:1 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00).....	98
7.19 Deney No:1 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00).....	99
7.20 Deney No:1 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00).....	99

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.21 Deney No:2 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00).....	101
7.22 Deney No:2 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00).....	101
7.23 Deney No:2 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00).....	102
7.24 Deney No:2 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00).....	102
7.25 Deney No:2 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00).....	103
7.26 Deney No:2 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00).....	103
7.27 Deney No:2 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00).....	104

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.28	Deney No:2 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)..... 104
7.29	Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:1 ve 2)..... 105
7.30	Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:1 ve 2)..... 105
7.31	Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:1 ve 2)..... 106
7.32	Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:1 ve 2)..... 106
7.33	Deney No:3 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00) 109

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.34	Deney No:3 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)..... 109
7.35	Deney No:3 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)..... 110
7.36	Deney No:3 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)..... 110
7.37	Deney No:3 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)..... 111
7.38	Deney No:3 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)..... 111
7.39	Deney No:3 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)..... 112
7.40	Deney No:3 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)..... 112

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.41. Deney No:4 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)	114
7.42 Deney No:4 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)	114
7.43 Deney No:4 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)	115
7.44 Deney No:4 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)	115
7.45 Deney No:4 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00).....	116
7.46 Deney No:4 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00).....	116
7.47 Deney No:4 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00).....	117

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.48	Deney No:4 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00) 117
7.49	Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:3 ve 4) 118
7.50	Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:3 ve 4) 118
7.51	Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:3 ve 4) 119
7.52	Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:3 ve 4) 119
7.53	Deney No:5 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)..... 122

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.54	Deney No:5 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00) 122
7.55	Deney No:5 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00) 123
7.56	Deney No:5 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00) 123
7.57	Deney No:5 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)..... 124
7.58	Deney No:5 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)..... 124
7.59	Deney No:5 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)..... 125
7.60	Deney No:5 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)..... 125

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.61.	Deney No:6 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)..... 127
7.62	Deney No:6 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)..... 127
7.63	Deney No:6 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)..... 128
7.64	Deney No:6 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)..... 128
7.65	Deney No:6 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)..... 129
7.66	Deney No:6 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)..... 129
7.67	Deney No:6 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)..... 130

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.68	Deney No:6 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)..... 130
7.69	Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:5 ve 6)..... 131
7.70	Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:5 ve 6)..... 131
7.71	Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:5 ve 6)..... 132
7.72	Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:5 ve 6)..... 132
7.73	Deney No:7 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00) 135

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.74 Deney No:7 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00).....	135
7.75 Deney No:7 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00).....	136
7.76 Deney No:7 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00).....	136
7.77 Deney No:7 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00).....	137
7.78 Deney No:7 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00).....	137
7.79 Deney No:7 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00).....	138
7.80 Deney No:7 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00).....	138

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.81. Deney No:8 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)	140
7.82 Deney No:8 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)	140
7.83 Deney No:8 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)	141
7.84 Deney No:8 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)	141
7.85 Deney No:8 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00).....	142
7.86 Deney No:8 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00).....	142
7.87 Deney No:8 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00).....	143

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.88	Deney No:8 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00) 143
7.89	Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:7 ve 8) 144
7.90	Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:7 ve 8) 144
7.91	Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:7 ve 8) 145
7.92	Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:7 ve 8) 145
7.93	Deney No:9 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)..... 148

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.94	Deney No:9 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00) 148
7.95	Deney No:9 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00) 149
7.96	Deney No:9 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00) 149
7.97	Deney No:9 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)..... 150
7.98	Deney No:9 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)..... 150
7.99	Deney No:9 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)..... 151
7.100	Deney No:9 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)..... 151

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.101. Deney No:10 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00).....	153
7.102 Deney No:10 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00).....	153
7.103 Deney No:10 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00).....	154
7.104 Deney No:10 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00).....	154
7.105 Deney No:10 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00).....	155
7.106 Deney No:10 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00).....	155
7.107 Deney No:10 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının teorik sonuçlara göre kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)	156

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.108 Deney No:10 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının teorik sonuçlara göre kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00).....	156
7.109 Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:9 ve 10).....	157
7.110 Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:9 ve 10).....	157
7.111 Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:9 ve 10).....	158
7.112 Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:9 ve 10).....	158
7.113 Kıvrımlı galvaniz oluk yutucu yüzeyin önden ve üstten görünüşü	159

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.114	Kıvrımlı galvaniz oluk yüzeyli kolektörde sıcaklık sensörlerinin yerleşimi 160
7.115	Kıvrımlı galvaniz oluk yüzeyli hava akışkanlı güneş kolektörü test düzeneği 160
7.116	Deney No:11 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)..... 164
7.117	Deney No:11 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)..... 164
7.118	Deney No:11 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)..... 165
7.119	Deney No:11 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)..... 165
7.120	Deney No:11 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00) 166

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.121	Deney No:11 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)..... 166
7.122	Deney No:11 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)..... 167
7.123	Deney No:11 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)..... 167
7.124	Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:11 ve Deney No:12)..... 168
7.125	Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:11)..... 168
7.126	Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:11)..... 169

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.127 Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:11).....	169
7.128 Deney No:12 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00).....	172
7.129 Deney No:12 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00).....	172
7.130 Deney No:12 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00).....	173
7.131 Deney No:12 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00).....	173
7.132 Deney No:12 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00).....	174
7.133 Deney No:12 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00).....	174

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.134	Deney No:12 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)..... 175
7.135	Deney No:12 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)..... 175
7.136	Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:12)..... 176
7.137	Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:12)..... 176
7.138	Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:12)..... 177
7.139	Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:12)..... 177

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.140	Deney No:13 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)..... 180
7.141	Deney No:13 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)..... 180
7.142	Deney No:13 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)..... 181
7.143	Deney No:13 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)..... 181
7.144	Deney No:13 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)..... 182
7.145	Deney No:13 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)..... 182
7.146	Deney No:13 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)..... 183

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.147	Deney No:13 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)..... 183
7.148	Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:13) 184
7.149	Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:13) 184
7.150	Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:13) 185
7.151	Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:13) 185
7.152	Deney No:14 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00) 188

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.153 Deney No:14 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00).....	188
7.154 Deney No:14 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00).....	189
7.155 Deney No:14 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00).....	189
7.156 Deney No:14 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00).....	190
7.157 Deney No:14 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00).....	190
7.158 Deney No:14 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00).....	191
7.159 Deney No:14 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00).....	191

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.160 Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:14).....	192
7.161 Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:14).....	192
7.162 Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:14).....	193
7.163 Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:14).....	193
7.164 Deney No:15 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)	196
7.165 Deney No:15 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)	196

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.166	Deney No:15 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)..... 197
7.167	Deney No:15 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)..... 197
7.168	Deney No:15 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)..... 198
7.169	Deney No:15 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)..... 198
7.170	Deney No:15 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)..... 199
7.171	Deney No:15 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)..... 199
7.172	Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:15)..... 200

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.173 Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:15).....	200
7.174 Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:15).....	201
7.175 Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:15).....	201
7.176 Düzlemsel kolektörde hava kanalındaki ve yutucu levha üzerindeki sıcaklık sensörlerinin yerleşimi	202
7.177 Düzlemsel hava akışkanlı güneş kolektörünün cam örtü sıcaklığı ölçümünde kullanılan sensörlerin yerleşimi	203
7.178 Deney No:16 için cam örtü sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00).....	207
7.179 Deney No:16 için cam örtü sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00).....	207

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.180	Deney No:16 için kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)..... 208
7.181	Deney No:16 için kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)..... 208
7.182	Deney No:16 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)..... 209
7.183	Deney No:16 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)..... 209
7.184	Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:16)..... 210
7.185	Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:16)..... 210
7.186	Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:16)..... 211

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.187 Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:16).....	211
7.188 Deney No:17 için cam örtü sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00).....	214
7.189 Deney No:17 için cam örtü sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00).....	214
7.190 Deney No:17 için kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00).....	215
7.191 Deney No:17 için kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00).....	215
7.192 Deney No:17 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00).....	216
7.193 Deney No:17 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00).....	216

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.194 Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:17).....	217
7.195 Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:17).....	217
7.196 Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:17).....	218
7.197 Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:17).....	218
7.198 Deney No:18 için cam örtü sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00).....	221
7.199 Deney No:18 için cam örtü sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00).....	221

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.200	Deney No:18 için kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)..... 222
7.201	Deney No:18 için kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)..... 222
7.202	Deney No:18 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)..... 223
7.203	Deney No:18 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)..... 223
7.204	Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:18) 224
7.205	Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:18) 224
7.206	Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:18) 225

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.207 Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:18).....	225
7.208 Deney No:19 için cam örtü sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00).....	228
7.209 Deney No:19 için cam örtü sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00).....	228
7.210 Deney No:19 için kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00).....	229
7.211 Deney No:19 için kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00).....	229
7.212 Deney No:19 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00).....	230
7.213 Deney No:19 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00).....	230

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.214 Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:19).....	231
7.215 Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:19).....	231
7.216 Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:19).....	232
7.217 Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:19).....	232
7.218 Deney No:20 için cam örtü sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00).....	235
7.219 Deney No:20 için cam örtü sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00).....	235

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.220	Deney No:20 için kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)..... 236
7.221	Deney No:20 için kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)..... 236
7.222	Deney No:20 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)..... 237
7.223	Deney No:20 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)..... 237
7.224	Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:20)..... 238
7.225	Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:20)..... 238
7.226	Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:20)..... 239

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.227 Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:20).....	239
8.1 Çift hava akışkanlı güneş kolektöründe ısı taşınım transferi	242
8.2 Seçici yüzeyli kolektör için çalışma akışkanı kütleli debisine karşılık gelen literatür ve tez modeli ısı taşınım katsayıları	251
8.3 Kırımlı galvaniz oluk yüzeyli kolektör için çalışma akışkanı kütleli debisine karşılık gelen literatür ve tez modeli ısı taşınım katsayıları	255
8.4 Tek hava akışkanlı güneş kolektöründe ısı taşınım transferi	256
8.5 Düzlemsel yüzeyli kolektör için çalışma akışkanı kütleli debisine karşılık gelen literatür ve tez modeli ısı taşınım katsayıları	260

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
8.6	Seçici yüzeyli kolektörler için Reynolds sayısına karşılık gelen basınç düşümü değerleri 266
8.7	Seçici yüzeyli kolektörler için Reynolds sayısına karşılık gelen sürtünme faktörü katsayısı değerleri 266
8.8	Kıvrımlı galvaniz oluk yüzeyli kolektörler için Reynolds sayısına karşılık gelen basınç düşümü değerleri 270
8.9	Kıvrımlı galvaniz oluk yüzeyli kolektörler için Reynolds sayısına karşılık gelen sürtünme faktörü katsayısı değerleri 270
8.10	Düzlemsel yüzeyli kolektörler için Reynolds sayısına karşılık gelen sürtünme faktörü katsayısı değerleri 274
8.11	Düzlemsel yüzeyli kolektörler için Reynolds sayısına karşılık gelen sürtünme faktörü katsayısı değerleri 274
8.12	Deneysel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:1)..... 276

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
8.13	Deneyssel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal ikinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:1) 276
8.14	Deneyssel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:2) 277
8.15	Deneyssel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal ikinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:2) 277
8.16	Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneyssel doğrusal çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$) 278
8.17	Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneyssel ikinci derece çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$) 278
8.18	Deneyssel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:3) 279

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
8.19	Deneysel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal ikinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:3)..... 280
8.20	Deneysel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:4) 280
8.21	Deneysel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal ikinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:4) 281
8.22	Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel doğrusal çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$) 281
8.23	Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel ikinci derece çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$) 282
8.24	Deneysel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:5)..... 283

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
8.25	Deneyssel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal ikinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:5) 283
8.26	Deneyssel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:6) 284
8.27	Deneyssel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal ikinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:6) 284
8.28	Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneyssel doğrusal çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$) 285
8.29	Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneyssel ikinci derece çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$) 285
8.30	Deneyssel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:7) 286

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
8.31	Deneysel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal ikinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:7)..... 287
8.32	Deneysel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:8) 287
8.33	Deneysel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal ikinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:8) 288
8.34	Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel doğrusal çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$) 288
8.35	Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel ikinci derece çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$) 289
8.36	Deneysel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:9)..... 290

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
8.37	Deneyssel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal ikinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:9) 290
8.38	Deneyssel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:10) 291
8.39	Deneyssel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:10) 291
8.40	Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneyssel doğrusal çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$) 292
8.41	Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneyssel ikinci derece çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$) 292
8.42	Deneyssel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:11) 293

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
8.43	Deneysel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal ikinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:11) 294
8.44	Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel doğrusal çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$) 294
8.45	Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel ikinci derece çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$) 295
8.46	Deneysel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:12) 296
8.47	Deneysel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal ikinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:12) 296
8.48	Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel doğrusal çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$) 297

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
8.49 Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel ikinci derece çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$)	297
8.50 Deneysel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:13)	298
8.51 Deneysel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal ikinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:13)	299
8.52 Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel doğrusal çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$)	299
8.53 Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel ikinci derece çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$)	300
8.54 Deneysel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:14)	301

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
8.55	Deneyssel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal ikinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:14) 301
8.56	Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneyssel doğrusal çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$) 302
8.57	Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneyssel ikinci derece çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$) 302
8.58	Deneyssel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:15) 303
8.59	Deneyssel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal ikinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:15) 304
8.60	Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneyssel doğrusal çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$) 304

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
8.61 Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel ikinci derece çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$)	305
8.62 Deneysel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:16)	306
8.63 Deneysel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal ikinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:16)	306
8.64 Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel doğrusal çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$)	307
8.65 Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel ikinci derece çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$)	307
8.66 Deneysel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:17)	308

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
8.67	Deneyssel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal ikinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:17) 309
8.68	Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneyssel doğrusal çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$) 309
8.69	Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneyssel ikinci derece çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$) 310
8.70	Deneyssel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:18) 311
8.71	Deneyssel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal ikinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:18) 311
8.72	Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneyssel doğrusal çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$) 312

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
8.73 Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel ikinci derece çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$)	312
8.74 Deneysel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:19)	313
8.75 Deneysel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal ikinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:19)	314
8.76 Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel doğrusal çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$)	314
8.77 Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel ikinci derece çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$)	315
8.78 Deneysel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:20)	316

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
8.79	Deneyssel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal ikinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:20) 316
8.80	Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneyssel doğrusal çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$) 317
8.81	Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneyssel ikinci derece çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$) 317
8.82	Çalışma akışkanı giriş sıcaklığına göre kolektör doğrusal çalışma parametresine bağlı kolektörlerin deneyssel birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$) 323
8.83	Çalışma akışkanı giriş sıcaklığına göre kolektör doğrusal çalışma parametresine bağlı kolektörlerin deneyssel birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$) 324
8.84	Çalışma akışkanı giriş sıcaklığına göre kolektör doğrusal çalışma parametresine bağlı kolektörlerin deneyssel birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$) 325

ŞEKİLLER DİZİNİ(Devamı)ŞekilSayfa

- 8.85 Çalışma akışkanı giriş sıcaklığına göre kolektör doğrusal çalışma parametresine bağlı kolektörlerin deneysel birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$) 326
- 8.86 Çalışma akışkanı giriş sıcaklığına göre kolektör doğrusal çalışma parametresine bağlı kolektörlerin deneysel birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$) 327

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.1 Bazı saydam örtülerin özellikleri	24
4.2 Bazı seçici yüzeyler ve özellikleri.....	27
4.3 Yalıtım malzemelerinin ısı özellikleri.....	28
4.4 Sızdırmazlık malzemelerinin özellikleri	29
5.1 Rüzgârın oluşturduğu ısı taşınım katsayısı için önerilen eşitlikler.....	55
5.2 Hava akışkanlı güneş kolektörlerinin özellikleri.....	65
6.1 Bir ölçüm esnasında ölçülen parametrelerin müsaade edilen sapma aralığı	73
7.1 Deneylerde kullanılan ölçüm cihazları ve teknik özellikleri	87
7.2 Belirsizlik analizi hesaplamalarında kullanılan ölçüm cihazlarının hata değerleri	90

ÇİZELGELER DİZİNİ (Devamı)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
7.3 Seçici yüzeyli güneş kolektörünün teknik özellikleri.....	93
7.4 Deney No:1 sonuçları	95
7.5 Deney No:2 sonuçları	100
7.6 Deney No:3 sonuçları	108
7.7 Deney No:4 sonuçları	113
7.8 Deney No:5 sonuçları	121
7.9 Deney No:6 sonuçları	126
7.10 Deney No:7 sonuçları	134
7.11 Deney No:8 sonuçları	139
7.12 Deney No:9 sonuçları	147
7.13 Deney No:10 sonuçları	152

ÇİZELGELER DİZİNİ (Devamı)ÇizelgeSayfa

7.14	Galvaniz oluk yüzeyli güneş kolektörünün teknik özellikleri.....	161
7.15	Deney No:11 sonuçları.....	163
7.16	Deney No:12 sonuçları.....	171
7.17	Deney No:13 sonuçları.....	179
7.18	Deney No:14 sonuçları.....	187
7.19	Deney No:15 sonuçları.....	195
7.20	Düzlemsel hava akışkanlı güneş kolektörünün teknik özellikleri.....	204
7.21	Deney No:16 sonuçları.....	206
7.22	Deney No:17 sonuçları.....	213
7.23	Deney No:18 sonuçları.....	220

ÇİZELGELER DİZİNİ (Devamı)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
7.24 Deney No:19 sonuçları	227
7.25 Deney No:20 sonuçları	234
8.1 Deney No:1 ve 2 için cam örtü, alt levha sıcaklıkları ve ısı taşınım katsayıları	245
8.2 Deney No:3 ve 4 için cam örtü, alt levha sıcaklıkları ve ısı taşınım katsayıları	246
8.3 Deney No:5 ve 6 için cam örtü, alt levha sıcaklıkları ve ısı taşınım katsayıları	247
8.4 Deney No:7 ve 8 için cam örtü, alt levha sıcaklıkları ve ısı taşınım katsayıları	248
8.5 Deney No:9 ve 10 için cam örtü, alt levha sıcaklıkları ve ısı taşınım katsayıları	249
8.6 Çift hava kanallı ve seçici yüzeyli güneş kolektörü için bulunan Nusselt sayısı bağıntıları	250

ÇİZELGELER DİZİNİ (Devamı)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
8.7 Deney No:11 için cam örtü, alt levha sıcaklıkları ve ısı taşınım katsayıları	252
8.8 Deney No:12 için cam örtü, alt levha sıcaklıkları ve ısı taşınım katsayıları	252
8.9 Deney No:13 için cam örtü, alt levha sıcaklıkları ve ısı taşınım katsayıları	253
8.10 Deney No:14 cam örtü, alt levha sıcaklıkları ve ısı taşınım katsayıları	253
8.11 Deney No:15 için cam örtü, alt levha sıcaklıkları ve ısı taşınım katsayıları	254
8.12 Çift hava kanallı ve kıvrımlı galvaniz oluk yüzeyli güneş kolektörü için bulunan Nusselt sayısı bağıntıları	254
8.13 Deney No:16 için ortalama deneysel cam örtü, akışkan, yutucu levha sıcaklıkları ve ısı taşınım katsayısı	257

ÇİZELGELER DİZİNİ (Devamı)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
8.14 Deney No:17 için ortalama deneysel cam örtü, akışkan, yutucu levha sıcaklıkları ve ısı taşınım katsayısı.....	257
8.15 Deney No:18 için ortalama deneysel cam örtü, akışkan, yutucu levha sıcaklıkları ve ısı taşınım katsayısı.....	258
8.16 Deney No:19 için ortalama deneysel cam örtü, akışkan, yutucu levha sıcaklıkları ve ısı taşınım katsayısı.....	258
8.17 Deney No:20 için ortalama deneysel cam örtü, akışkan, yutucu levha sıcaklıkları ve ısı taşınım katsayısı.....	259
8.18 Tek hava kanallı düzlemsel güneş kolektörü için bulunan Nusselt sayısı bağıntısı	259
8.19 Deney No:1 ve 2 için teorik ve deneysel olarak bulunan basınç düşümü ve sürtünme faktörü katsayısı	261
8.20 Deney No:3 ve 4 için teorik ve deneysel olarak bulunan basınç düşümü ve sürtünme faktörü katsayısı	262

ÇİZELGELER DİZİNİ (Devamı)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
8.21 Deney No:5 ve 6 için teorik ve deneysel olarak bulunan basınç düşümü ve sürtünme faktörü katsayısı.....	263
8.22 Deney No:7 ve 8 için teorik ve deneysel olarak bulunan basınç düşümü ve sürtünme faktörü katsayısı.....	264
8.23 Deney No:9 ve 10 için teorik ve deneysel olarak bulunan basınç düşümü ve sürtünme faktörü katsayısı.....	265
8.24 Deney No:11 için teorik ve deneysel olarak bulunan basınç düşümü ve sürtünme faktörü katsayısı.....	267
8.25 Deney No:12 için teorik ve deneysel olarak bulunan basınç düşümü ve sürtünme faktörü katsayısı.....	268
8.26 Deney No:13 için teorik ve deneysel olarak bulunan basınç düşümü ve sürtünme faktörü katsayısı.....	268
8.27 Deney No:14 için teorik ve deneysel olarak bulunan basınç düşümü ve sürtünme faktörü katsayısı.....	269

ÇİZELGELER DİZİNİ (Devamı)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
8.28 Deney No:15 için teorik ve deneysel olarak bulunan basınç düşümü ve sürtünme faktörü katsayısı	269
8.29 Deney No:16 için teorik ve deneysel olarak bulunan basınç düşümü ve sürtünme faktörü katsayısı	271
8.30 Deney No:17 için teorik ve deneysel olarak bulunan basınç düşümü ve sürtünme faktörü katsayısı	272
8.31 Deney No:18 için teorik ve deneysel olarak bulunan basınç düşümü ve sürtünme faktörü katsayısı	272
8.32 Deney No:19 için teorik ve deneysel olarak bulunan basınç düşümü ve sürtünme faktörü katsayısı	273
8.33 Deney No:20 için teorik ve deneysel olarak bulunan basınç düşümü ve sürtünme faktörü katsayısı	273
8.34 Teorik ve deneylerden elde edilen sürtünme faktörü katsayısı ifadeleri	275

ÇİZELGELER DİZİNİ (Devamı)ÇizelgeSayfa

8.35	Seçici yüzeyli kolektörün literatür ve tez modeli sonuçlarının istatistiksel analizi	320
8.36	Kıvrımlı galvaniz oluk yüzeyli kolektörün literatür ve tez modeli sonuçlarının istatistiksel analizi	321
8.37	Tek hava kanallı düzlemsel kolektörün literatür ve tez modeli sonuçlarının istatistiksel analizi	322
8.38	Kolektör tasarım parametreleri ve optik verimlilikleri.....	328

SİMGELER VE KISALTMALAR

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklamalar</u>
A	Alan (m^2)
C_p	Özgül ısı (J/kg.K)
D	Çap (m)
$\dot{E}$	Birim zamanda enerji geçişi (W)
$\dot{E}_x$	Birim zamanda kullanılabilirlik (Ekserji) geçişi (W)
F^I	Kolektör verim faktörü
F_R	Kolektör ısı kazanç faktörü
f	Sürtünme faktörü katsayısı
H	Hava kanalı yüksekliği (m)
h	Isı taşınım katsayısı ($W/m^2.K$), özgül entalpi (J/kg.K)
I	Yüzeye gelen toplam ışıınım miktarı (W/m^2)
$\dot{I}$	Birim zamanda tersinmezlik miktarı (W)
k	Isı iletim katsayısı (W/mK)
KN	Kinetik enerji
L	Kolektör uzunluğu (m)
$\dot{m}$	Kütlesel debi (kg/s)
n	Kırılma indisi
Nu	Nusselt sayısı
PH	Fiziksel
PT	Potansiyel enerji
P	Basınç (Pa, kPa)
Pr	Prandtl sayısı
Q	Birim zamanda ısı geçişi (W)
q	Birim alandan birim zamanda ısı geçişi (W/m^2)
Q^*	Güneş enerjisi (W)
R	İdeal gaz sabiti ($Pa.m^3/K$)

SİMGELER VE KISALTMALAR(Devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklamalar</u>
Re	Reynolds sayısı
S	Entropi (W/K)
s	özell entropi (J/kg.K)
S ₁	Cam örtüyü geçen ışınlm miktari (W/m ²)
S ₂	Yutucu levhanın yuttuğu ışınlm miktari (W/m ²)
T	Sıcaklık (K)
U	Isı transfer katsayısı (W/m ² .K)
V	Hız (m/s)
W	Hava kanalı genişliği (m)
X	ışınlm yönünde ölçülen mesafe (m)
x	Mesafe (m), Kalınlık (m)
α	Yutma katsayısı, ısıl yayılım katsayısı
β	Kolektör eğim açısı (°)
σ	Stefan-Boltzmann sabiti (5,67x10 ⁻⁸ W/m ² K ⁴)
Δ	Fark
ε	Yansıtma katsayısı
η	Verim
θ	Boyutsuz sayı, geliş açısı (°)
μ	Dinamik viskozite (kg/sm)
ν	Momentum yayılım katsayısı
ρ	Yoğunluk (kg/m ³)
τ	Geçirme katsayısı
ψ	Kullanılabilirlik (J/kg)

SİMGELER VE KISALTMALAR(Devam)

<u>Alt-simgeler</u>	<u>Açıklamalar</u>
a	Çevre
ap	Yutucu levha
b	Alt, Direkt
bp	Alt levha
c	Cam örtü, integral sabiti, taşınım
ch	Kanal
col	Kolektör
d	Difüz
dest	Yıkım
e	Eşdeğer
f	Akışkan hava
gen	Üretim
h	Hidrolik
heat	Isı
i	Giriş
ins	Yalıtım
loss	Kayıp
L	Toplam
m	Ortalama
mass	Kütle
max	Maksimum
n	Normal
o	Çıkış
r	Işınım, yansıma
s	Gökyüzü
sol	Güneş

SİMGELER VE KISALTMALAR(Devam)

<u>Alt-simgeler</u>	<u>Açıklamalar</u>
t	Üst
top	Toplam
u	Yararlı
w	Rüzgar
work	İş
z	Zenit
I	Birinci yasa
II	İkinci yasa
1	Üst kanal
2	Alt kanal

1. GİRİŞ

Enerji sektörü stratejik öneme sahip olmakla birlikte çevreyi de olumsuz yönde etkileyen sektörlerden birisidir. Fosil yakıtların yakılması sonucu oluşan emisyonlar; yerel, bölgesel, hatta küresel çevre sorunlarına yol açmakta ve iklim değişimlerinin nedenleri arasında sayılmaktadır. Bu gibi olumsuz etkiler dikkate alındığında fosil enerji kaynaklarından kademeli olarak uzaklaşarak, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek gerekmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengin coğrafi konuma sahip olan Türkiye’de bu enerji kaynaklarını kullanmak uygun bir seçenek olarak ortaya çıkmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi olan güneş; tükenmez, çevre kirliliği yaratmayan, dışa bağımlılığı olmayan ve işletme giderlerinin düşük olduğu bir enerji kaynağıdır.

Türkiye’de güneş enerjisinin en yaygın kullanım alanı sıcak su ısıtma sistemleridir. Hava akışkanlı güneş kolektörleri sıvılı güneş kolektörleri ile karşılaştırıldığında teknolojileri ve uygulamaları yaygın şekilde geliştirilememiştir. Güneş enerjisi ile ısıtılan hava konvansiyonel bir kurutucuya sıcak hava sağlamak, kontrollü koşullar altında daha etkili bir şekilde kurutma, sera ve mahal ısıtma için kullanılabilir.

Sıvılı düzlemsel güneş kolektörleri ile havalı güneş kolektörleri arasındaki en önemli fark, yutucu levha ve ısıtılan akışkan arasındaki ısı transfer mekanizmasıdır. Sıvılı düzlemsel güneş kolektörlerinde yaygın olarak kullanılan kanatçık borulu tasarımlarda, yutucu levha tarafından yutulan ısı su borularına iletim ile transfer edildiği için yüksek ısı iletim katsayısına sahip bir levhanın kullanılması gerekmektedir. Hava akışkanlı güneş kolektörlerinde yutucu levha tarafından yutulan ısı,

akışkana taşınım ile transfer edildiğinden dolayı levhanın iletim katsayısı önemli değildir. Sıvılı güneş kolektörlerinin aksine sistem basınçlı olmadığı için hafif çelik, alüminyum levhalar ve hatta bazen atık malzemeler havalı kolektör tasarımı için kullanılabilir. Yani, havalı kolektörler için yutucu yüzeyin metal olmasına gerek yoktur ve güneş ışınımını yutabilecek siyaha boyanmış herhangi bir yüzey, ısınıp havaya transfer edecektir. Dolayısıyla bir güneş enerjili hava ısıtıcı doğal olarak daha ucuzdur ve uzun ömürlüdür. Ayrıca, güneş enerjili hava ısıtıcılarda sızıntı, sıvılı düzlemsel güneş kolektörlerinin aksine büyük bir problem değildir. Yutucu levhanın korozyona uğrama tehlikesi yoktur. Havalı güneş kolektörler daha az lehim ve sıhhi tesisat işçiliği gerektirir. Bunun yanında bakımı, işletmesi kısmen daha kolaydır ve donma tehlikesi yoktur. Hava akışkanlı kolektörlerin kısmen basitliği kendi sistemini kurmak isteyen insanların dikkatini çekebilir, fakat toplayıcı, depolama ve güneş enerjisinin tümünün kullanımı bu ısıtıcıların yapımını zorlaştırır. Bu nedenle bu kolektörler ısı transfer bilgisine sahip kişiler tarafından tasarlanmalıdır.

Hava akışkanlı güneş kolektörlerinde en önemli sorun, hatalı biçimde tasarlanmış bir kolektörde yutucu levhadan çalışma akışkanına olan zayıf ısı transferidir. Isı transfer katsayıları çeşitli şekillerde göz önüne alınarak iyileştirilebilir. Havanın düşük yoğunluğundan dolayı, aynı miktarda ısı toplamak için gerekli sıvı hacmi ile karşılaştırıldığında büyük hacimlerde hava kullanılması gerekmektedir. Diğer bir dezavantajı, havanın düşük ısı kapasiteye sahip olmasıdır.

Hava akışkanlı güneş kolektörlerinde üst ısı kayıpları azaltmak için kolektör bir veya daha fazla geçirgen örtü ile kaplanır. Bu örtü, taşınım ile çevreye olan ısı kaybını azaltmasının yanında, kolektöre güneş ışınımının

girişinin sağlanması ve yutucu yüzeyin yağmur, dolu ve toz gibi dış etkenlerden korunması görevini de üstlenir.

Hava siyah bir yutucu yüzey ile temas halinde dolaştırılır. Pratik ve teknik nedenlerden dolayı, ısı gerekli olmadığı zaman enerji çakıl taşı yatağında depolanabilir ve akşamları kullanılmak üzere sıcak çakıl taşı boyunca soğuk hava dolaşımı ile hava ısıtılabilir.

Güneş kolektörleri güneş enerjisini toplayan ve bu enerjiyi çalışma akışkanına ısı olarak aktaran ısı enerjisi sistemleridir. Genel olarak bir kolektör; cam veya plastikten yapılan üst örtü, metal veya plastik yutucu levha, arka ve yan yalıtım ile bu bölümleri içine alan bir kasadan oluşmaktadır. Kolektörler, kurulacak yerin enlemine bağlı olarak en yüksek güneş ışıınımı alacak şekilde yerleştirilmelidir. Güneş enerjisi sistemleri doğal dolaşimli ve bir fanla havanın sağlandığı zorlanmış dolaşimli sistemler olmak üzere ikiye ayrılır. Güneş kolektörlerindeki en önemli amaç, güneş enerjisinin mümkün olduğunca en büyük değerinde toplanması ve en az kayıpla kullanım noktasına aktarılmasıdır. Bu amaçla, çevre ortama olan ısı kayıplarının azaltılması, yutucu levha şeklinin iyi seçilmesi ve ısıının etkili bir şekilde kolektör içinde ki havaya aktarılması gerekmektedir.

Güneş kolektörlerinin en önemli kısmı yutucu yüzey oluşturmaktır. Kolektörün verimi; yutucu yüzey kaplamasına, şekline ve yutucu yüzey için seçilen malzemenin özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Yutucu yüzey kaplamalarının en önemli görevi ise güneş ışıınımını mümkün olduğu kadar tutması ve ısıya dönüştürmesidir. Yutucu yüzey kaplaması olarak siyah mat boya (seçici olmayan) ve seçici (selektif) yüzey kaplamaları kullanılır. Siyah mat boyanın güneş ışıınımını yutma miktarı 0,90-0,98 gibi yüksek değerlere sahip iken ışıınım yayma miktarı da

yüksektir (0,5-0,92). Oysa kolektörlerdeki asıl amaç, kısa dalga boylu ışıının tamamına yakınının yutulması, buna karşılık uzun dalga boylu ışıının yayıcılığının en aza indirilmesidir. Bu durumda, kolektörlerde seçici yüzey kaplamaların kullanılması gerekmektedir. Seçici yüzeyler, sıcaklık yükselmesinde daha az ışıının yayarlar ve dolayısıyla kolektör ısı verimi yükselir. Seçici yüzey kaplamaları, 0,3-2,5 μm spektrum aralığında 0,90'ın üzerinde yutuculuk ve 2,5-50 μm kızılötesi bölgede 0,10 civarında yayıcılık özelliği göstermektedir (Tırıs v.d., 1997).

Kolektörün anlık birinci yasa verimi, çalışma akışkanından elde edilen yararlı ısıının kolektör birim alanı üzerine gelen güneş ışıınına oranı olarak tanımlanır. Termodinamiğin birinci yasası (enerji analizi) tek başına enerji kullanım süreçlerinin bütün davranışlarını incelemek için yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, enerji akışını daha iyi tanımlayabilmek için termodinamiğin ikinci yasa analizi (ekserji analizi) yapılması gerekmektedir. Genellikle, çok daha anlamlı verimlilikler enerji analizinden ziyade ekserji analizi ile değerlendirilir, çünkü ekserji verimleri bir sürecin veriminin ideale ne kadar yaklaştığını gösterir. Kolektörler için ekserji verimi ise, çıkış ekserjisinin giriş ekserjisine oranı olarak tanımlanır.

Bu çalışmada, üç tip hava akışkanlı güneş kolektörü tasarlanmış ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Birinci tip güneş kolektörü; güneş ışıını geçiirgenliği kısmen daha yüksek bir temperli cam örtü, seçici yutucu levha üzerinden ve altından hava akışının olduğu çift hava kanallı, alt ve yan yüzeyleri yalıtılmış 1300x2100x200 mm kasa boyutlarına sahip düzlemsel güneş kolektörüdür. İkinci tip, düşük demir oksitli bir cam örtü, yutucu yüzeyi siyah mat kolektör boyası ile boyanmış kıvrımlı galvaniz oluk levha üzerinden ve altından hava akışının olduğu çift hava kanallı, alt ve yan yüzeyleri yalıtılmış 1100x2100x200 mm kasa

boyutlarına sahip düzlemsel güneş kolektörüdür. Üçüncü tip kolektör, düşük demir oksitli bir cam örtü, yutucu yüzeyi siyah mat kolektör boyası ile boyanmış düzlemsel levha üzerinden hava akışının olduğu tek hava kanallı, alt ve yan yüzeyleri yalıtılmış 1100x21000x100 mm kasa boyutlarına sahip konvansiyonel düzlemsel güneş kolektörüdür.

Bu çalışma kapsamında havalı kolektörlerin izotermal ve nonizotermal modele göre enerji, ekserji verimleri ve basınç düşümü değerleri teorik ve deneysel olarak irdelenmiştir. Teorik kısımda, kolektörler boyunca 25 cm aralıklarla cam örtü, yutucu levha ve kanal içindeki hava sıcaklıkları sonlu farklar metodu ile literatürdeki uygun eşitlikler kullanılarak analitik ve sayısal olarak çözümlenmiştir. Deneysel aşamada, birinci ve ikinci tip kolektörler için kolektör girişinde ve kanal boyunca 50 cm aralıkla üst ve alt kanaldaki hava sıcaklıkları, kolektör girişinden itibaren 50 cm aralıklarla yutucu levha üzerindeki sıcaklar gün boyunca ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Üçüncü tip kolektörde, kolektör girişinde ve 50 cm aralıkla kanal içindeki hava sıcaklığı, kolektör girişinden itibaren 50 cm aralıklarla cam örtü ve yutucu levha sıcaklıkları gün boyunca ölçülmüş ve kaydedilmiştir.

Havalı kolektörlerin matematiksel modellenmesinde en önemli parametre uygun Nusselt (Nu) sayısının belirlenmesidir. Bu çalışmada, literatürden alınan uygun bağıntılar kullanılarak yapılan çözümleme sonuçları deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yapılan bilimsel çalışmalarda, Nusselt sayısı bağıntıları çıkarılırken kolektörler adyabatik ısı değiştirici olarak kabul edilmiş ve sadece yutucu levha ile akışkan arasındaki ısı transfer mekanizması göz önüne alınmıştır. Oysa gerçekte kolektörlerdeki ısı kayıplarının önemli bir bölümünü cam örtü üzerinden olan kayıplar oluşturmaktadır. Bu amaçla bu çalışmada, cam örtü

sıcaklıkları da hesaba katılarak modellemeler oluşturulmuş ve yeni Nu bağıntıları geliştirilmiştir.

Kolektörlerde ısı verimi artırma yöntemlerinden birisi de, yutucu yüzey alanını artırmaktır. Fakat yüzey alanının artırılması kolektörlerdeki basınç kaybını artırmaktadır. Bu çalışma kapsamında, yutucu yüzey geometrisinin ısı verime olan etkisi irdelenmiş ve basınç düşüm değerleri deneysel ve teorik olarak bulunmuştur. Her bir kolektör tipi için deneysel sonuçlar doğrultusunda Reynolds (Re) sayısına bağlı olarak sürtünme faktörü eşitlikleri çıkartılmıştır.

Bu çalışma kapsamında literatürden alınan ve tez kapsamında oluşturulan Nusselt sayısı bağıntıları ile oluşturulan matematiksel modeller, deney sonuçları ile istatistiksel hata metotları kullanılarak karşılaştırılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Güneş enerjisi ile havanın ısıtılmasındaki araştırma ve geliştirmeler, 1940'da Miller, Lof ve Telkes tarafından yapılan çalışmalar ile başlamıştır. Bu çalışmalar, Lof ve Telkes'in sırasıyla Colorado ve Massachusetts'te ki evlerinin tamamını hava akışkanlı güneş kolektörleri ile ısıtmak amacıyla yaptıkları tasarım ve deneyleri kapsamaktadır (Garg, 1982).

Gupta ve Garg (1966) ikisi oluklu tip, ikisi ağ tipi olmak üzere dört adet kolektörün teorik, deneysel ve basınç düşümüne karşılık gelen ısı verim değerini araştırmıştır. Rankine ve Charters (1969) konvansiyonel hava ısıtıcılarda bileşik taşınım ve ışıyım ısı kayıplarını teorik ve deneysel olarak irdelemiştir. Suri ve Saini (1969) tek ve çift hava kanallı güneş kolektörleri için boyutsuz parametreler cinsinden verimlilik değerini araştırmıştır. Parker (1981) altı farklı yapıdaki hava akışkanlı güneş kolektörünün ısı verimi ve kayıp faktörleri için matematiksel ifadeler tanımlamıştır. Parker vd. (1993) yutucu levha üzerinden, yutucu levha altından ve hem yutucu levha üzerinden hem de altından hava akışı olan düzlemsel üç kolektör ile V şekilli yutucu levhaya sahip kolektörün deney sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Ayrıca, daha önce Parker (1981) tarafından yapılan teorik sonuçlar ile deney sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Çalışma sonunda, teorik ve deney sonuçlarının uyumlu olduğunu gözlemlemişlerdir. Dhiman ve Tiwari (1984) çift hava kanallı düzlemsel güneş kolektöründe levhaların ve kanaldaki hava debilerinin eşit veya farklı olması durumunda ısı verimin değişimini incelemişlerdir. Biondi vd. (1988) yedi adet konvansiyonel hava akışkanlı güneş kolektörünün ısı verimini teorik olarak analiz etmişler, hava akış debisi ve kolektör geometri katsayısının ısı verim üzerine etkisini araştırmışlardır. Ong (1995a; 1995b) dört farklı hava

akışkanlı güneş kolektörlerinin matematiksel modellemelerini ve çözüm prosedürünü tanımlamıştır. Modelleri matris yöntemiyle çözmüş ve deney sonuçları ile karşılaştırmıştır. Hachemi (1997) siyaha boyanmış yüzeyin boyanmamış yüzeye nazaran ısı verimi nasıl etkilendiğini incelemiştir. Hachemi (1999) seçici yüzeyli ve seçici yüzeysiz hava akışkanlı güneş kolektörlerinde ısı transferi ve sürtünme faktörü katsayıları için deneysel bağıntılar oluşturmuştur. Al-Kamil ve Al-Ghareeb (1997) güneş enerjili bir hava ısıtıcı içerisindeki ısı ışıınım etkilerini teorik ve deneysel olarak incelemiştir. Toure (2001) havalı güneş kolektörlerinde kolektör tarafından alınan güneş ışıınımı (E) ile $\Delta T = T_{\text{yutucu}} - T_{\text{çevre}}$ arasındaki değişimi incelemiştir. ΔT ve E arasında lineer bir eşitlik kurmuş ve bu eşitliği T_L ve T_G gibi karakteristik sıcaklık ile tanımlamıştır. Gunnewiek vd. (2002) camsız düzlemsel güneş kolektörlerinde, rüzgârın akış dağılımına olan etkisini incelemiştir. Durmuş ve Kurtbaş (2002) yeni tasarladıkları havalı güneş kolektöründe Elazığ yöresi kayisılarını kurutmuş ve kolektör ısı verimini deneysel olarak irdemiştir. Abu-Hamdeh (2003) kararlı koşullar altında çalışan fiberglas örtülü düzlemsel ve çatıya monte edilmiş bir havalı güneş kolektörünün ısı verimi, ısı kazancı ve çıkış sıcaklığı için bir matematiksel model geliştirmiş ve model sonuçları ile deney sonuçlarını karşılaştırmıştır. Forson vd. (2003) tek ve çift hava kanallı güneş kolektörleri için matematiksel model tanımlamışlardır. Model ile güneş ışıınımı, çevre sıcaklığı ve kütleli debi parametrelerine bağılı olarak cam örtü, alt levha, yutucu levha, alt ve üst kanalların sıcaklıklarını sayısal olarak çözümlenmiştir. Deneysel olarak bu değerleri ölçmüş ve model ile deneyler arasında uyumun sağlandığını gözlemlemiştir. Ammari (2003) havalı güneş kolektörünün ısı verimini artırmak amacıyla kullandığı çıtaların kolektör ısı verimi üzerine olan etkisini teorik olarak incelemiştir. Flores-Irigollen v.d. (2004) hava ısıtmak için tasarladıkları tünel tipi güneş kolektöründe ısı transfer hareketini ifade eden yeni bir

matematiksel model tanımlamış ve model ile deney arasında uyum olduğunu gözlemlemiştir. Alvarez vd. (2004) yutucu levhası 128 adet alüminyum kutudan meydana gelen yeni tasarım hava akışkanlı güneş kolektörü için matematiksel model tanımlamışlar, test etmişler ve diğer kolektörler ile ısı verimini karşılaştırmışlardır. Koyuncu (2006) farklı yapıdaki altı adet doğal dolaşimli havalı güneş kolektörünün verimlilik değerini deneysel olarak irdelemiş ve yutucu levhası siyaha boyanmış, plastik örtülü kolektörün en yüksek verime sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Whillier (1964) örtü olarak üst üste yerleştirilmiş gazlı bezin kullanıldığı hava akışkanlı güneş kolektörlerinin ısı verimini teorik olarak incelemiş ve diğer kolektör tipleri ile karşılaştırmıştır. Selçuk (1971) üst üste yerleştirilmiş cam levhalı hava ısıtıcıların ısı verim değerini teorik, deneysel olarak irdelemiş ve ekonomik analizini yapmıştır.

Badescu (2002) ekolojik bir binayı iki farklı sistemle ısıtmıştır. Birinci sistem, ısı pompası ve buna entegre edilmiş bir havalı güneş kolektöründen, ikinci sistem ise sadece ısı pompasından oluşmaktadır. Birinci sistem kullanılması durumunda ısı pompasının COP değerinin daha yüksek olduğunu ve kompresör için harcanan elektrik gücünün daha düşük olduğunu gözlemlemiştir. Badescu (2003) alan ısıtmak için güneş enerji destekli bir ısı pompası ve sadece ısı pompasının kullanılması durumundaki farkı incelemiştir. Abou-Ziyan vd. (1997) konvansiyonel ısı pompası, konvansiyonel hava akışkanlı güneş kolektörü ve seri bağlı güneş enerjisi destekli iki ısı pompası sistemleri arasındaki benzeşim sonuçlarını göstermiştir.

Öztürk ve Başçetinçelik (2003) sera ısıtması için kullanılan dolgu yataklı bir ısı depolama ünitesinin enerji ve ekserji analizini yapmışlardır. Öztürk (2005) 180 m² alana sahip bir serayı ısıtmak için kullanılan mevsimlik bir gizli ısı depolama sisteminin enerji ve ekserji verimliliğini deneysel olarak analiz etmiştir. Enibe (2002) faz değişim malzeme enerji depolamalı bir güneş enerjili hava ısıtıcının ısı verimini deneysel olarak irdilemiştir. Enibe (2003) doğal taşınımlı bir havalı güneş kolektörünün zamana bağlı ısı analizini yapmış, teorik ve deneysel sonuçları irdileyerek arasındaki uyumu göstermiştir.

Gao vd. (2000) bir çapraz oluklu (cross-corrugated) güneş enerjili hava ısıtıcıda, sinüs dalgalı (sine-wave) yutucu ve düzlemsel örtüsü arasındaki kanalda oluşan doğal ısı taşınımı sayısal olarak araştırmıştır. Gao v.d. (2007) üç farklı yapıda çapraz oluklu yutucu ve alt levhaya sahip hava akışkanlı güneş kolektörlerinin ısı verimini teorik ve deneysel olarak incelemişler ve bu kolektörleri düzlemsel güneş kolektörleri ile karşılaştırmışlardır. Lin vd. (2006) çapraz oluklu havalı güneş kolektörlerinin ısı performansı üzerine parametrik bir çalışma yapmışlardır. Metwally vd. (1997) oluklu yüzeye sahip bir hava ısıtıcı tasarlamışlar ve bunun ısı verimini diğer hava ısıtıcılar ile teorik ve deneysel olarak karşılaştırmışlardır.

Hava akışkanlı güneş kolektörlerinde pürüzlü bir yapıya sahip yutucu levhanın termohidrolik performansının arttığı bilinen bir gerçektir. Gupta vd. (1993) kolektör yutucu levhası üzerinde pürüzlülük yaratmak için kullandıkları kaburganın ısı akısı ve akış hızına etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Gupta vd. (1997) pürüzlülüğün ve çalışma koşullarının hava akışkanlı güneş kolektörlerinin ısı ve termohidrolik performansına olan etkisini incelemişler ve bu kolektörlerin ısı verimini konvansiyonel düzlemsel güneş kolektörlerinin

ısı verimi ile karşılaştırmışlardır. Ayrıca, optimum tasarım ve çalışma koşullarını belirlemişlerdir. Verma ve Prasad (2000) yutucu levhası pürüzlendirilen güneş enerjili hava ısıtıcının optimum termohidrolik performansını analiz etmişlerdir. Hegazy (1996,1999) konvansiyonel tipteki bir hava ısıtıcının optimum kanal derinliği için analitik kriter geliştirmiş ve değişken hava debisi için optimal oranı $D/L = 2,5 \times 10^{-3}$ olarak önermiştir. Hegazy (2000a; 2000b) kolektör termohidrolik performansına yutucu levha şeklinin etkisini, debi ve ısıtım şiddetinin fonksiyonu olarak incelemiş ve aynı çalışma şartları altında kolektör genişliğinin etkisini araştırmıştır. Karwa vd. (2001) hava akışı boyunca yerleştirilen yivli pürüzlü kaburganın termo hidrolik performans etkisini teorik ve deneysel olarak irdelemiştir. Pürüzlü yutucu levhaya sahip kolektör ile pürüzsüz yutucuya sahip kolektörün performansını deneysel olarak karşılaştırmıştır. Karwa vd. (2002) kolektör dizilişlerinin seri, paralel veya seri-paralel bileşimi şeklinde olması durumunda termohidrolik performans etkisini matematiksel bir model ile göstermişlerdir. Sahu ve Bhagoria (2005) bir güneş enerjili hava ısıtıcının yutucu levhası üzerinde 90° kırık çapraz pürüzlü kaburganın kullanılmasıyla oluşan ısı transfer katsayılarını deneysel olarak analiz etmiştir. Jaurker vd. (2006) yutucu levhası üzerinde oluk kaburga şeklinde pürüzlülük bulunan bir güneşli hava ısıtıcının ısı transferi ve sürtünme karakteristiklerini analiz etmişlerdir. Momin vd. (2002) hava akışkanlı güneş kolektörlerinde yutucu levha altına yerleştirilen V şekilli kaburgaların ısı transfer akısına ve akışkan akısına etkisini deneysel olarak incelemişlerdir.

Ho vd. (2005) ısı geri kazanımlı çift hava kanallı düzlemsel güneş kolektörünün ısı verimini teorik ve deneysel olarak analiz etmiştir. Bu kolektörün ısı verimini, aynı hava akış debileri için konvansiyonel çift hava kanallı kolektör ile kıyaslamıştır. Ho vd. (2005) dıştan ısı geri

kazanımlı çok geçişli güneş enerjili hava ısıtıcılarının cihaz performansında iyileştirme çalışmasını, karşıt akışlı koşullar altında yapmıştır.

Lumsdaine (1969) örtü malzemesi olarak yarı geçirgen akrilik plastiğin kullanıldığı hava akışkanlı güneş kolektörünün ısı verimini teorik ve deneysel olarak analiz etmiştir. Bu kolektör ile düzlemsel hava akışkanlı güneş kolektörünün ısı verimini karşılaştırmıştır. Njomo (1995) plastik örtüye sahip hava akışkanlı bir güneş kolektörünün ekonomik analizini yapmıştır. Choudhury vd. (1996) üç geçişli bir hava ısıtıcının maliyet-fayda oranını araştırmışlardır. Jannot ve Coulibaly (1997) bir plastik film örtü ile kaplanmış hava akışkanlı güneş kolektörünün geçirgen örtü ve yutucu levhasının ışıyım dengeleri için yeni bir denklem takımı önermiştir. Jannot ve Coulibaly (1998) seri bağlı güneş enerjili hava ısıtıcı ve bir kurutma odasından meydana gelen bir kurutucuda havalı kolektörün performans aralığı için buharlaştırıcı kapasitesi olarak adlandırılan yeni bir göstergiyi tanımlamıştır. Ahmad (2001) düşük maliyetli plastik ambalaj filminden yapılan tarımsal amaçlı havalı güneş kolektörünün deneysel olarak 10 °C sıcaklık farkı yarattığını belirtmiştir.

Chiou vd. (1965) ısı yutucu ortam olarak 6 farklı yapıdaki gözenekli matrislerin kullanıldığı hava akışkanlı güneş kolektörlerinin ısı verim değerlerini deneysel olarak irdelemişlerdir. Sharma vd. (1991) dolgu yataklı hava ısıtıcıların ısı performansını teorik ve deneysel olarak irdelemişlerdir. Ahmad vd. (1995,1996) dolgu yataklı hava ısıtıcılarda dolgu yatak malzeme geometrisinin ısı verim üzerine etkisini ve termohidrolik performans karakteristiklerini deneysel olarak analiz etmişlerdir. Lalude ve Buchberg (1971) dolgu yatağı petek geometriye sahip güneş enerjili hava ısıtıcıların ekonomik analizini ve kurutma

işleminde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Varshney ve Saini (1998) tel ağ matrisli güneş enerjili hava ısıtıcı kanalı içindeki ısı transfer katsayısı ve sürtünme faktörü için bağıntılar geliştirmiştir. Thakur vd. (2003) dolgu yataklı havalı güneş kolektörleri için ısı transfer katsayısı ve sürtünme faktörü katsayılarını belirlemişlerdir. Mittal ve Varshney (2006) hava kanalı tel elek matrise sahip dolgu yataklı bir güneş enerjili hava ısıtıcının termohidrolik performansı için bir yöntem tanımlamış ve bu kolektörden elde edilen termohidrolik optimizasyon sonuçlarını, konvansiyonel tip kolektörün sonuçları ile kıyaslamıştır. Mittal vd. (2007) yutucu levhası üzerinde farklı yapılarda pürüzlülük elemanlarına sahip güneş enerjili hava ısıtıcıların etkinlik verimliliğini araştırmışlardır. Mohamad (1997) yeni tip gözenek matrisli ters akışlı bir güneş enerjili hava ısıtıcı tasarlamış ve bu tasarımın ısı verimini konvansiyonel tip dört hava akışkanlı güneş kolektörünün ısı verimi ile karşılaştırmıştır.

Naphon ve Kontragool (2003) düzlemsel havalı bir güneş kolektörünün ısı transfer karakteristiğini ve performansını sonlu farklar metodunun açık yöntemini kullanarak analiz etmiştir. Naphon (2005) gözenek ortamlı ve ortamsız olmak üzere çift hava kanallı düzlemsel havalı güneş kolektörlerinin ısı transfer karakteristiklerini ve performansını sonlu farklar metodunun kapalı yöntemini kullanarak analiz etmiştir. Modelden elde edilen sonuçları, daha önceki araştırmacıların bulduğu deneysel sonuçlar ile karşılaştırmış ve deneyler ve gösterilen model arasında bir uyum olduğunu belirtmiştir. Naphon (2005) uzunlamasına kanatçık yerleştirilen çift hava kanallı bir güneş kolektörünün performansını ve entropi üretimini sayısal olarak analiz etmiştir.

Kabeel ve Mearik (1998) havalı güneş kolektörleri için optimum yutucu levha şeklini belirlemiş ve bunun ısı verime etkisini incelemiştir.

Pottler vd. (1999) güneş enerjili hava ısıtıcıların yutucu levhasında kullanılan kanatçıklar için optimum tasarım parametrelerini belirlemişlerdir.

Tan ve Charters (1969) çalışma akışkanı olarak havanın kullanıldığı üniform ısı akıllı ve asimetric olarak ısıtılan bir dikdörtgen kanalın ısı olarak gelişmiş bölgesindeki yerel Nusselt sayılarını belirlemek için deneysel bir çalışma yapmıştır. Reynolds sayısı aralığının 9500–22000 olması durumunda Nusselt sayısı için eşitlikler geliştirmiştir. Tan (1997) farklı iki binanın havalı güneş kolektörü sistemi ile ısıtılması durumunu incelemiştir. Joudi ve Dhaidan (2001) Bağdat'ta iki katlı bir bina için kurulan güneş enerjisi destekli ısıtma ve soğutma sisteminin performansını incelemiştir. Sugözü ve Sarsılmaz (2006) havalı güneş kolektörü ile iç ortamın ısıtılmasını deneysel olarak araştırmışlardır.

Janjai ve Tung (2005) güneş kolektörlerinden sağlanan sıcak havanın kullanılmasıyla şifalı ot ve baharatların kurutulması için çatıya monte edilmiş bir kurutucu tasarlamış ve kolektör ısı verimini deneysel olarak irdelemiştir. Timoumi vd. (2004) tarımsal ürünleri kurutmak için kullanılan güneş enerjili bir hava ısıtıcısının ısıl davranışını teorik ve deneysel olarak incelemiştir.

Aboul-Enein vd. (2000) ürün kurutma uygulamaları için kurdukları ısıl enerji depolamalı ve depolamasız düzlemsel güneş kolektörlerinin zamana bağlı analizi için matematiksel bir model tanımlamıştır. Pramuang ve Exell (2005) kararlı olmayan koşullar altında çalışan güneş enerjili kolektörün performans parametrelerinin ölçümü için geçerli olan bir metodu parabolik yoğunlaştırıcılı bir güneşli hava ısıtıcıya uygulamışlardır. Toğrul ve Pehlivan (2003) güneşi doğduğu andan battığı

ana kadar takip edebilen konik yoğunlaştırıcı yeni tip bir havalı güneş kolektörü tasarlamışlar ve bu kolektörün ısı verimliliğini havanın zorlanmış koşulları altında incelemiştir. Toğrul vd. (2004) bu çalışmalarında konik yoğunlaştırıcı kolektörü doğal taşınım koşulları altında test etmiştir.

Al-Nımr ve Damseh (1998) şaşırtma levhalı güneş enerjili bir hava ısıtıcısının dinamik ısı davranışını matematiksel bir model ile tanımlamış ve modelin geçerliliğini deneysel olarak doğrulamıştır. Yeh ve Lin (1996) düzlemsel hava akışkanlı güneş kolektörlerinde ısı transfer yüzey alanını artırmak amacıyla yerleştirilen paralel bariyerlerin ısı verime etkisini teorik ve deneysel olarak incelemiştir. Yeh ve Lin (1997) havalı güneş toplayıcılarının ısı veriminin değişimini bir kolektör yerine bu kolektör ile aynı alana sahip seri bağlı iki kolektör kullanılması durumunda analiz etmiştir. Yeh vd. (1998) hava akışkanlı güneş kolektörlerinde şaşırtma levhasının kullanılması durumunda ısı veriminin değişimini teorik olarak incelemiştir. Yeh vd. (1999) havanın yutucu levha altından veya üzerinden aktığı tek kanallı havalı kolektörler için kütle debisinin ısı verime etkisini deneysel ve teorik olarak incelemiştir. Yeh vd. (2002) yutucu levha altında ve üstünde kanatçıklara sahip çift hava kanallı güneş kolektörünün verimini deneysel ve teorik olarak incelemiştir.

Altfeld vd. (1988a; 1988b) hava akışkanlı güneş kolektörleri ikinci yasa optimizasyonunu ve optimizasyon sonuçlarını araştırmışlardır. Onyegegbu ve Morhenne (1993) düzlemsel levhalı bir hava ısıtıcısının zamana bağlı ikinci yasa verimini irdemişlerdir. Yorgancıoğlu (1996) hava akışkanlı güneş kolektörlerinin ikinci yasa optimizasyon sonuçlarını irdemiştir. Saha ve Mahanta (2001) düzlemsel hava akışkanlı güneş kolektörünün termodinamik optimizasyonunu ve entropi üretiminin

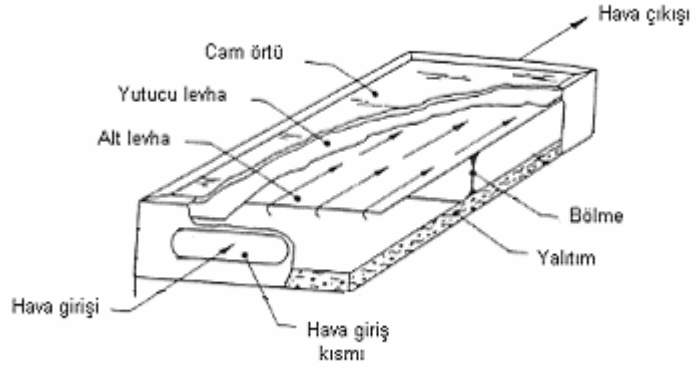
ikinci yasa verimine olan etkisini incelemişlerdir. Torres-Reyes vd. (2002) düzlemsel güneş kolektörünün kullanıldığı kurutma prosesinin ekserji analizini irdemiştir. Torres-Reyes vd. (2003) termodinamiğin birinci ve ikinci yasasına bağlı olarak geliştirdikleri termohidrolik bir model vasıtasıyla çalışma akışkanının optimum akış yolu uzunluğunu belirlemek için genel bir metot tanımlamışlardır. Farklı hava kanalları ve yutucu levha şekilleri için geliştirilen eşitliklerin optimal ısıl performansı hesaplamak için kullanılabileceğini ve termodinamik yöntemin güneş enerjisinin ısı enerjine dönüşümü esnasında kolektör boyunca basınç düşümü ile üretilen tersinmezliklerini içerdiğini belirtmişlerdir. Kurtbaş ve Durmuş (2004) dört farklı geometriye sahip kolektörler ile konvansiyonel düzlemsel kolektörlerin enerji ve ekserji verimliliklerini karşılaştırmışlardır. Ayrıca, her bir kolektör için deneysel olarak Nusselt sayısı ve sürtünme katsayısı bağıntıları geliştirmişlerdir.

3. HAVA AKIŞKANLI GÜNEŞ KOLEKTÖRÜ TİPLERİ

Hava akışkanlı güneş kolektörleri farklı şekillerde tasarlanabilir. Cam altına yutucu yüzeyler; üst üste, mesafeli, şeffaf veya siyah cam levhalar, pürüzsüz tek metal levhalar, akış boyunca yığılmış perdeler veya ağlar, kıvrımlı, kanatçıklı metal levhalar ve daha farklı şekillerde yerleştirilebilir. Bazı kolektörlerde, levha altındaki hava akışı aşağı yönde olan ısı kayıplarını azaltır. Bir veya iki katmanlı cam örtü veya geçirgen plastik yukarı doğru olan taşınım ve ısıtım kayıplarına direnç sağlar. Yutucu yüzey şekline göre havalı güneş kolektörlerinin bazıları aşağıdaki bölümde incelenmiştir.

3.1 Konvansiyonel Düzlemsel Levha Yutuculu Kolektörler

Bu kolektörler, en yaygın kullanılan ve en basit kolektör tipidir (Şekil 3.1). Bu kolektörlerin çoğunda, güneş ışımasını yutmak ve bu enerjiyi ısıya dönüştürmek için siyaha boyanmış hafif bir yutucu levha kullanılır. Bu kolektörler, bir veya iki cam örtüden meydana gelip alt tarafı yalıtılmıştır. Ayrıca, ekonomik olması istenirse örtü olarak plastik filmlerde kullanılabilir. Hava akış yolu, yutucu levhanın altında, üstünde veya her iki tarafında olabilir.



Şekil 3.1 Basit düzlemsel levha yutuculu kolektör (Garg,1982)

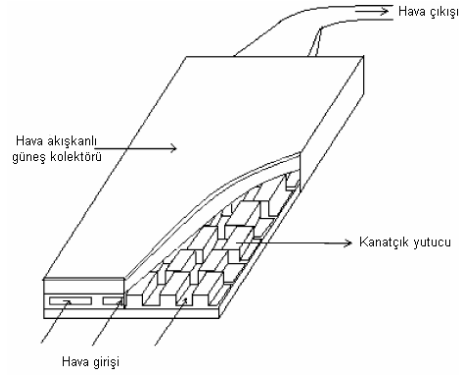
3.2 Kanatçık Levha Yutuculu Kolektörler

Kanatçık levha yutuculu kolektörler, konvansiyonel kolektörlerinin ısı veriminin iyileştirilmesi amacıyla tasarlanmıştır (Şekil 3.2). Düzlemsel levha üzerinde kanatçıkların kullanılmasıyla, ısı transfer yüzey alanı ve dolayısıyla ısı transfer katsayısı ve ısı verim artırılabilir. Kanatçıklar genellikle hava akış yönünde yerleştirilir. Doğru şekilde tasarlanmış bir kanatçıklı yutucu levhali kolektör ile ısı transfer alanının ve ısı veriminin arttığı, toplam basınç değerinin uygun sınırlar içinde kaldığı gözlemlenmiştir (Garg, 1982).

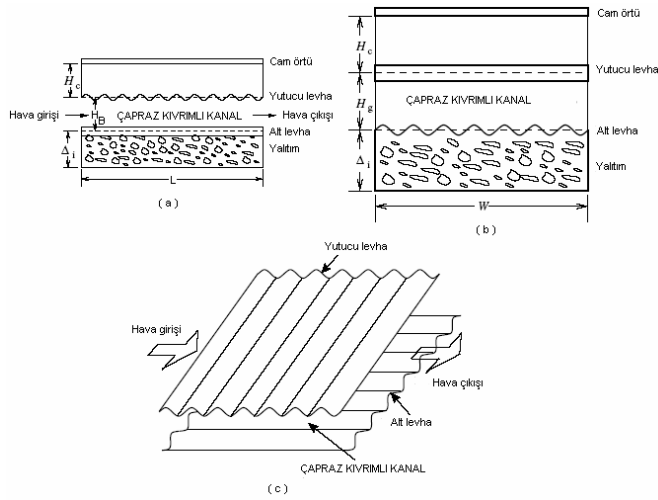
3.3 Kıvrımlı Levha Yutuculu Kolektörler

Kolektör ısı verimi artırmak amacıyla tasarlanan diğer bir kolektör tipi de kıvrımlı yutucu levhaya sahip hava akışkanlı güneş kolektörleridir. Burada yutucu levha, yuvarlak kıvrımlar veya V kıvrımlar şeklindedir (Şekil 3.3). Bu kıvrımlar ısı transfer alanını

arttırırken akış yönüne bağlı olarak türbülânsta bir artış sağlar ve uygun eğimde yerleştirilirse yüzey direk seçici olarak yapılabilir.



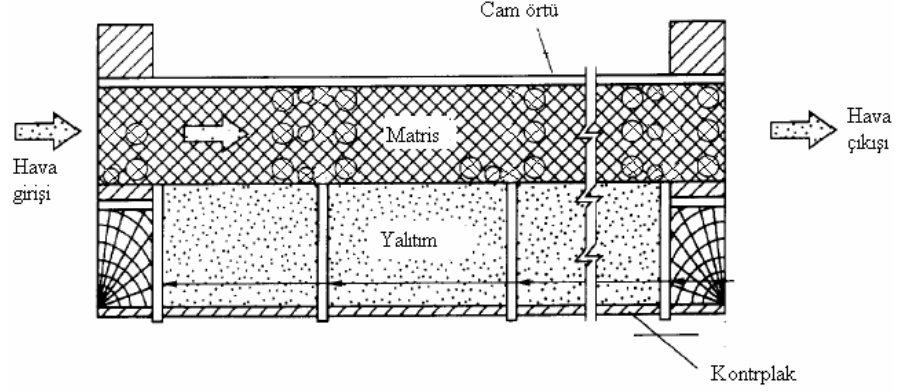
Şekil 3.2. Kanatçık yutuculu hava ısıtıcı (Garg, 1982)



Şekil 3.3 Kırırmlı levha yutucu (a) Akış yönüne dik kesit görünüşü (b) Akış boyunca kesit görünüşü (c) Kırırmlı yutucu ve alt levhanın şematik görünüşü (Gao vd., 2007)

3.4 Matris Yutucu Levhalı Kolektörler

Bu tasarımda yutucu matris, cam ve yutucu siyah levha arasında olan hava akış yolunun içerisine yerleştirilmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Matris yutucu levhalı hava akışkanlı kolektör (Ahmad vd., 1995)

Matris malzemesi, pamuk gazlı bez veya diğer gevşek paketlenmiş gözenekli malzemelerden yapılabilir. Bu kolektörlerde yüksek ısı transfer hacim oranı için yüksek ısı transfer katsayısı ve tasarıma bağlı olarak düşük sürtünme kayıpları oluşmaktadır. Daha yüksek ısı transfer oranları çalışma sıcaklığında azalmaya neden olmaktadır. Bu kolektörlerde düşük sıcaklık farklarından dolayı daha az ısı kayıpları meydana gelir ve daha yüksek verim elde edilir. Ayrıca, matris malzemesi daha ucuz ve tasarımı kısmen daha basittir.

4. YÜZEYLERİN MALZEME VE IŞINIM KARAKTERLERİNİN OPTİK ÖZELLİKLERİ

Güneş enerjisi kolektörlerinde uygun malzemelerin seçimi çok önemlidir. Kolektör tasarım aşamasında, malzemelerin optik özellikleri, çevresel güvenilirliği ve maliyeti gibi faktörler göz önünde bulundurulmalıdır.

4.1 Saydam Örtü Optik Özellikleri

Kolektör örtüsü, gelen güneş ışınımını yaklaşık olarak tümünü geçiren, buna karşı kolektörden çevreye taşınım ile olan ısı transferi ve uzun dalga boylu ışınım enerjisi geçişine engel oluşturan levha veya film türünde saydam malzemelerdir.

Kolektörlerde ısı verimi büyük ölçüde etkileyen ısı kayıpları arasında taşınım ve ışınım yoluyla gerçekleşen üst kayıplar yer almaktadır. Üst kayıplara neden olan taşınım ile ısı transferi örtü malzemesi yardımıyla azaltılabilir. Yutucu yüzeyin yaydığı uzun dalga boylu ışınımın örtü tarafından geçirilen kısmı ışınım ile kaybı oluşturur. Örtü malzemesi ayrıca yutucu yüzeyi dış etkilerden korur. Örtü malzemesinin geçirgenliğindeki azalmalar kolektör verimini büyük ölçüde etkiler. Bu nedenle güneş ışınları geçirgenliğinin yüksek, ısı ışınımını geçirgenliğinin ise küçük olması istenir.

Hava akışkanlı güneş kolektörlerinde, cam, plastik malzemeler ve polyesterler saydam örtü olarak kullanılabilir. Cam, akrilik, polikarbonat, cam yünü katkılı polyester çok iyi optik özelliklere sahip iken, PVF (teflon), FEP (teflon) filmler güneş ışınlarını yüksek oranda geçirirken,

uzun dalga boylu ışınım geçirgenliği oldukça yüksektir. Filmler seçici örtü uygulanmış yutucu yüzeylerle birlikte kullanılır. Bazı örtü malzemelerinin özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Bazı saydam örtülerin özellikleri (Kılıç ve Öztürk,1983)

Malzeme	Kalınlık (mm)	Kırma indisi	Nominal geçirme oranı		Dayanıklılık (°C)
			Güneş ışınımı 0,2 - 4,0 µm	Yayılan ışınım 0,2 - 4,0 µm	
Lexan	3,2	1,586	0,73	0,02	120-130
Akrilik	3,2	1,49	0,80	0,02	80-90
Teflon, PVF	0,13	1,34	0,90	0,26	200
Tedlar,PVF	0,10	1,45	0,88	0,21	110
Mylar	0,13	1,65	0,80	0,18	150
Sunlite	0,64	1,54	0,75	0,08	90
Düzgün cam	3,2	1,52	0,79	0,02	730
Temper cam	3,2	1,52	0,79	0,02	230-260
Su beyazı cam	3,2	1,50	0,92	0,02	200

Plastik örtü, cam örtü ile karşılaştırıldığında kırılgenliği daha azdır, ışınımı daha iyi geçirir ve maliyeti daha ucuzdur. Fakat güneş ışınının ultraviyole (u.v.) kısmına maruz kaldığında zamanla bozulur. Ayrıca bu kolektörleri örtüsüz yapmakta mümkündür. Saydam örtünün geçirgenliği malzeme cinsine, normal geliş açısındaki ışınının dalga boyuna ve cam örtü kullanılıyorsa cam içerisindeki demir oksit (Fe_2O_3) oranına göre değişmektedir.

4.2 Yutucu Levha Optik Özellikleri

Güneş enerjili hava toplayıcılarının en önemli elemanı, güneş enerjisini toplayan ve bu enerjiyi çalışma akışkanına aktararak faydalı enerjiye dönüştüren yutucu yüzeydir. Yutucu yüzey topladığı güneş enerjisini çalışma akışkanına büyük ölçüde aktarmalıdır. Isıl kapasitesi yüksek yutucu yüzeyler güneş enerjisindeki ani değişmelere daha yavaş cevap verirler. Ayrıca toplanan enerjinin bir kısmı yüksek ısıl kapasite nedeniyle kullanılmadan kalacağından sistem için bu enerji kayıptır (Özbalta vd., 2003).

Hava akışkanlı güneş kolektörlerinde yutucu yüzey ile hava arasında ısı transfer katsayısı küçük olduğundan, seçilen malzemenin ısı transfer alanı/hacim oranının büyük olması gerekmektedir. Bu şekilde ısı transfer alanı artacağı için havaya aktarılan enerji miktarı da artar. Büyük ısı transfer alanı/hacim oranına sahip yutucu yüzeylerde güneş ışınları derinliğine yutulur. Bu şekilde yutulan ısı miktarı artar. Isı transfer alanı/hacim oranı büyük yutucularda ısı kayıpları daha az olur. Yutucu yüzeyin pürüzlü olması ısı transferinde artışa neden olurken ve ısı verimi olumlu yönde etkilerken, kolektörde oluşacak basınç kaybını dolayısıyla fan gücünü artırır (Özbalta vd., 2003).

Hava akışkanlı güneş kolektörlerinde kullanılan yutucu yüzeyler; metal, cam ve polimer esaslı malzemeler olabilir. Hava akışkanlı güneş kolektörlerinde plastik filmler, örtü malzemesi olarak kullanıldığı gibi yutucu yüzey şeklinde de kullanılabilir. Polimerik malzemeler doğrudan uygulandığı gibi, bazı sentetik tekstil ürünleri de yutucu yüzey amacıyla kullanılabilir. Yutucu yüzey ve örtü malzemesi olarak polimer kullanımı, maliyet düşüklüğü ve oldukça yeterli kullanım süreleri nedeniyle diğer

alternatiflere göre ilginç olmaktadır. Düşük sıcaklıklardaki çalışmalarda, polimer esaslı yutucular yeterli ısı transfer hızlarını sağlayarak toplayıcı verimini kabul edilebilir düzeye çıkarırlar.

Yutucu yüzeyin, güneş ışınlarını yutma oranının büyük ve uzun dalga ışıınım yaymasının ise küçük olması istenmektedir. Ayrıca üretim kolaylığı, kolay işlenebilirliği, çalışma süresince oluşacak sıcaklık değişimlerine direnci, özelliklerinin zamanla değişmemesi ve ucuz olması da dikkate alınmalıdır.

Kolektörlerde kullanılan metalik yutucu yüzeyler genelde alüminyum, çelik ve paslanmaz çeliktir. Bu malzemeler güneş ışınlarını kuvvetli şekilde yutamazlar. Zayıf yutma özellikleri, yüzeylerini uygun örtü malzemeleri ile kaplayarak iyileştirilir. Yutucu yüzeyin ısı özelliklerini iyileştirmek için genellikle siyah mat boya veya seçici yüzey kaplamaları kullanılır. Seçici yüzey örtü malzemelerinin pahalı, üretim ve yüzeye uygulanmasının zorluğu kullanımlarını önemli ölçüde kısıtlamaktadır.

Güneş enerjili hava toplayıcılarında ısı transfer yüzeyini arttırmak amacıyla düzlemsel yutucu yüzey siyah metalik veya plastik elek ile örtülür. Bu tür yapı ile gelen ışıının yarıya yakın kısmı elekten geçerek hava kanalının alt yüzünde tutulur. Elek ile akışta türbülansa artış sağlanır. Tüm bu etkiler taşınım ile ısı transfer katsayısının yaklaşık iki kat artmasına neden olur Diğer bir deyişle toplayıcı ısı verimi %10-15 artar. Düzlemsel yutucu yüzeyin elek ile kaplanması getirdiği maliyet artışı dikkate alınmayacak kadar küçüktür (Özbalta vd.,2003).

Seçici yüzey, ilk defa siyah nikel ve siyah bakır kaplama ile Tabor tarafından yapılmıştır. Tabor, siyah nikel ve siyah bakır kaplamaları galvanizli çelik ve alüminyum üzerine uygulamıştır. Daha sonra, çok sayıda seçici yüzey elde edilmiştir (Kılıç ve Öztürk, 1983). Çizelge 4.2’de bazı seçici yüzeyler ve özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.2. Bazı seçici yüzeyler ve özellikleri (Kılıç ve Öztürk, 1983)

Kaplama	Alt tabaka	Yutma katsayısı (α)	Yayma katsayısı (ϵ)
Nikel	Galvanizli çelik	0,93	0,08
Kobalt	Galvanizli çelik	0,91	0,12
Krom	Çelik	0,95	0,16
Demir oksit	Çelik	0,83	0,06
Kobalt	Alüminyum	0,92	0,13
Bakır oksit	Alüminyum	0,93	0,11
Kurşun sülfür	Alüminyum	0,89	0,20
Nikel	Çinko kaplı Al.	0,94	0,10
Krom	Çinko	0,91	0,08
Çinko oksit	Çinko	0,95	0,08
Krom	Bakır	0,92	0,08
Kobalt oksit	Nikel	0,87	0,07

4.3 Yalıtım Malzemeleri Optik Özellikleri

Kolektörlerin arka veya yan yüzeyleri yalıtılarak çevreye olan ısı kayıpları azaltılır. Yalıtımla sistemin ısı tutma kapasitesi korunur.

Yalıtım malzemesi düşük ısı iletkenliğe sahip olmalıdır, ayrıca toplayıcının çalışması süresince oluşacak yüksek sıcaklık ve gerilimlere dayanıklı olmalıdır. Toplayıcılarda kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlikleri Çizelge 4.3’de verilmektedir.

Çizelge 4.3. Yalıtım malzemelerinin ısı özellikleri (Özbalta vd., 2003)

Malzeme	Isıl iletkenliği (W/mK) (24 °C' de)	Maksimum kullanım sıcaklığı (°C)
Cam yünü	0,032	343
Mineral lifli	0,036-0,055	649-1037
Kalsiyum silikat	0,055 (90 °C de)	649
Perlit	0,048 (90 °C de)	816
Polistiren köpük	0,029-0,039	74
Poliüretan köpük	0,023	104
İsosianür köpük	0,025	121
Fenolik köpük	0,033	135
Formaldehit köpük	0,032	132

4.4. Sızdırmazlık Malzemeleri Optik Özellikleri

Güneş enerjili hava toplayıcılarında, hava akış kanalı ile örtü arasındaki bağlantı kaçaklarının önlenmesi büyük önem taşır. Bu amaçla en yaygın kullanılan sızdırmazlık malzemeleri silikon lastik, neopren ve akriliktir.

Sızdırmazlık malzemeleri önceden kullanıma uygun şekilde verilmiş elastik malzeme olabileceği gibi macun türünde de olabilir. Macun şeklindeki sızdırmazlık malzemeleri kullanımdan kısa bir süre sonra sertleşerek esnek bir yapı kazanır. Sızdırmazlık malzemesinin sertleşmesi, yapısındaki çözünenin buharlaşmasıyla gerçekleşir. Buharlaşan çözgü örtü üzerinde veya yutucu yüzeyde yoğunlaşabilir. Bu durum örtünün ışık geçirgenliğinde azalmaya, yutucu yüzeyde yoğunlaşma halinde ise yüzeyde bazı bozulmalara neden olabilir.

Sızdırmazlık malzemelerinin yüksek sıcaklıklara dayanım, atmosferik koşullara direnç ve mekanik nitelikleri gibi önemli özellikleri Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Sızdırmazlık malzemelerinin özellikleri (Özbalta vd.,2003)

Malzeme	Çalışma sıcaklığı (°C)		Basınca dayanım	Esnemeye dayanım	Yağmur suyuna dayanım
	Maks.	Min.			
Silikon	230	-60	İyi	İyi	İyi
Neopren	130	-20	Çok iyi	İyi	İyi
Uretan	100	-50	Zayıf	İyi	Orta
Akrilik	130	-40	İyi	Orta	Zayıf
Flor katkılı elastomer	230	-40	İyi	İyi	Çok iyi

5. HAVA AKIŞKANLI GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİNİN MODELLENMESİ

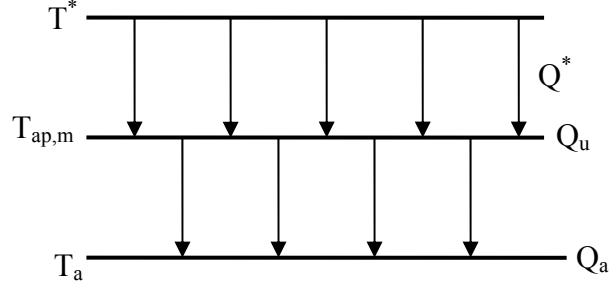
Hava akışkanlı güneş kolektörlerinin birinci ve ikinci yasa analizi bir boyutlu ve kararlı durum koşulları göz önüne alınarak irdelenmiştir. Analizde, izotermal ve nonizotermal model kullanılmıştır.

5.1. İzotermal Modele Göre Kolektörlerin Termodinamik Analizi

İzotermal modelde, kolektör ortalama yutucu levha sıcaklığının yutucu yüzeyin her tarafında eşit olduğu kabul edilmiş ve kolektör durma sıcaklığının etkisi göz önüne alınarak yutucu levha sıcaklıkları cinsinden verim eğrileri türetilmiştir.

5.1.1 İzotermal model enerji analizi

İzotermal model analizinde kolektör yutucu yüzeyinin her tarafının ortalama sıcaklık değerinde ($T_{ap,m}$) olduğu kabul edilmektedir. Güneşten sağlanan ısıнын bir kısmı kolektör ortalama yüzey sıcaklığında yararlı ısı olarak çalışma akışkanına aktarılmakta (Q_u) ve kalan kısmı çevreye kayıp olarak (Q_a) olarak aktarılmaktadır. Şekil 5.1’de görüldüğü gibi güneşten gelen ışıınım (Q^*), $T_{ap,m}$ sıcaklığında çalışan A_{col} alanına sahip kolektör tarafından alınır (Bejan, 1994, 1996).



Şekil 5.1. Çevre ortama ısı kaybılı kolektörün modellenmesi

$$Q^* = Q_a + Q_u \quad (5.1)$$

Toplam ısı kaybı Q_a denklem 5.2 ile tanımlanır.

$$Q_a = U_L A_{col} (T_{ap,m} - T_a) \quad (5.2)$$

Maksimum kolektör yüzey sıcaklığı (durma sıcaklığı) yararlı ısının sıfır olması ($Q_u=0$) durumunda oluşur ve boyutsuz şekilde aşağıdaki denklem 5.3 ile tanımlanabilir. Maksimum kolektör sıcaklığı parametresinden kolektör tasarımında kullanılacak malzemelerin seçimi yapılabilir.

$$\theta_{ap,max} = \frac{T_{ap,max}}{T_a} = 1 + \frac{Q^*}{U_L A_{col} T_a} \quad (5.3)$$

Denklem 5.3’de, gelen güneş enerjisi aşağıdaki ifade ile tanımlanabilir.

$$Q^* = U_L A_{col} (T_{ap,max} - T_a) \quad (5.4)$$

Güneş kolektörlerinin birinci yasa (enerji) verimi aşağıdaki şekilde de ifade edilebilir.

$$\eta_I = \frac{Q_u}{Q^*} = \frac{Q^* - U_L A_{col} (T_{ap,m} - T_a)}{Q^*} \quad (5.5)$$

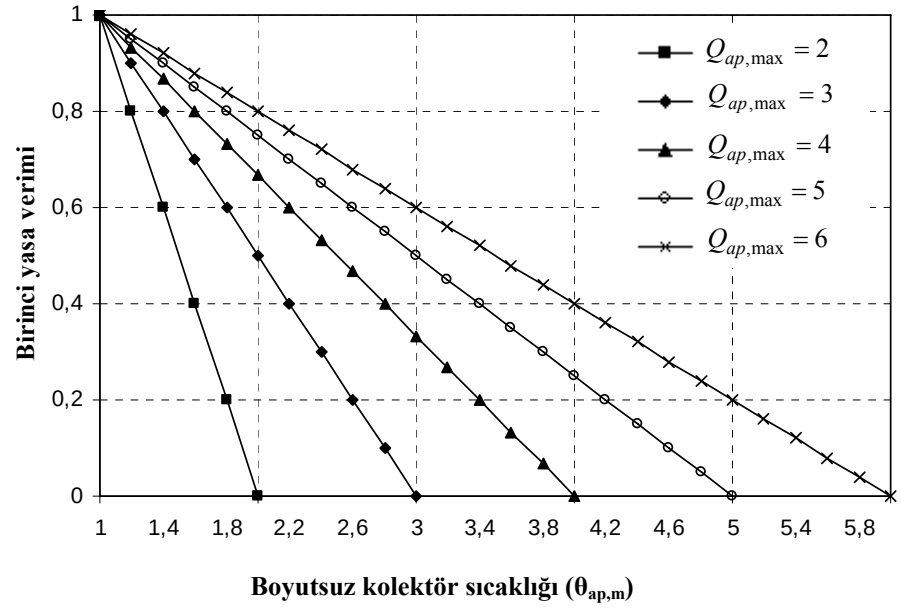
Denklem 5.2 ve 5.5’de ki ortalama yutucu levha sıcaklığı ($T_{ap,m}$) boyutsuz formda denklem 5.6 ile tanımlanır.

$$\theta_{ap,m} = \frac{T_{ap,m}}{T_a} \quad (5.6)$$

Denklem 5.3 ve 5.6, denklem 5.5’de yerine konulur ve düzenlenirse kolektörler için enerji verimi boyutsuz formda denklem 5.7 ile hesaplanır.

$$\eta_I = 1 - \frac{\theta_{ap,m} - 1}{\theta_{ap,max} - 1} \quad (5.7)$$

Kolektörler için enerji veriminin boyutsuz kolektör ortalama sıcaklığına ($\theta_{ap,m}$) ve kolektör maksimum sıcaklığına göre ($\theta_{ap,max}$) değişiminin verildiği Şekil 5.2’den görüldüğü gibi, kolektör yutucu levha sıcaklığı çevre sıcaklığı ile eşit olduğu zaman kolektör enerji verimi %100 olmaktadır. Boyutsuz kolektör sıcaklığı arttıkça enerji verimi azalmaktadır.



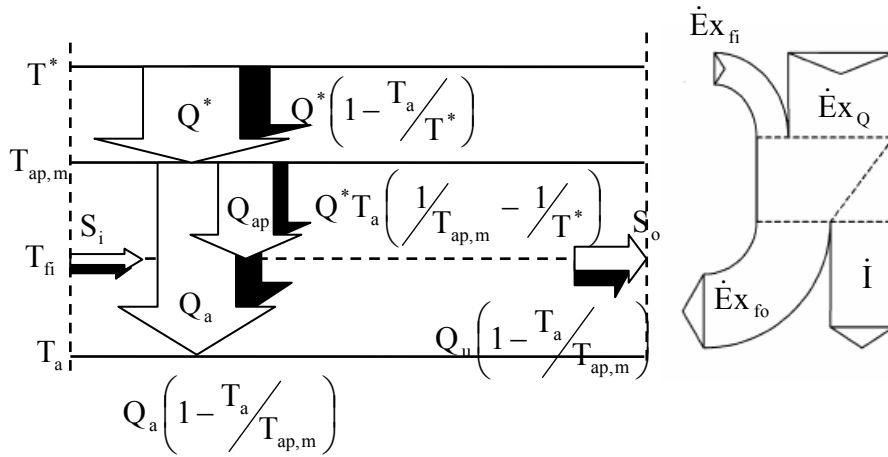
Şekil 5.2 Boyutsuz kolektör sıcaklığına bağlı kolektör birinci yasa verimi

5.1.2 İzotermal model ekserji analizi

Bir sistemin çıkış ekserjisinin giriş ekserjine oranı ikinci yasa (ekserji) verimi olarak tanımlanmaktadır ve aşağıdaki ifade yardımıyla bulunabilir.

$$\eta_{II} = \frac{\Delta \dot{E}x_o}{\Delta \dot{E}x_i} = 1 - \frac{\sum \dot{I}}{\Delta \dot{E}x_i} \quad (5.8)$$

Şekil 5.3’de izotermal modele göre güneş kolektörlerinde enerji, entropi ve ekserji akışları gösterilmiştir (Bejan 1994, 1996).



Şekil 5.3. Bir kolektördeki enerji, entropi ve ekserji akışı

İkinci yasa verimi, boyutsuz parametre cinsinden ifade edilebilir.

$$\eta_{II} = \frac{Q_u \left(1 - \frac{T_a}{T_{ap,m}} \right)}{Q^* \left(1 - \frac{T_a}{T^*} \right)} \quad (5.9)$$

Q_u/Q^* birinci yasa verimi olduğuna göre denklem 5.6, denklem 5.9'da yerine konulur ve düzenlenirse, ikinci yasa verimi enerji verimine bağlı olarak denklem 5.10 ile de tanımlanabilir.

$$\begin{aligned} \eta_{II} &= \eta_I \frac{\left(1 - \frac{T_a}{T_{ap,m}} \right)}{\left(1 - \frac{T_a}{T^*} \right)} = \eta_I \frac{\left(1 - \frac{1}{\theta_{ap,m}} \right) Q^* \theta_{ap,m}}{\left(1 - \frac{1}{Q^*} \right) Q^* \theta_{ap,m}} \\ &= \eta_I \left(\frac{\theta_{ap,m} - 1}{\theta_{ap,m}} \right) \left(\frac{Q^*}{Q^* - 1} \right) \end{aligned} \quad (5.10)$$

Boyutsuz birinci yasa verimi denklem 5.3 ve 5.7, denklem 5.10'da yerine konulursa ikinci yasa verimi aşağıdaki bağıntıya dönüşür.

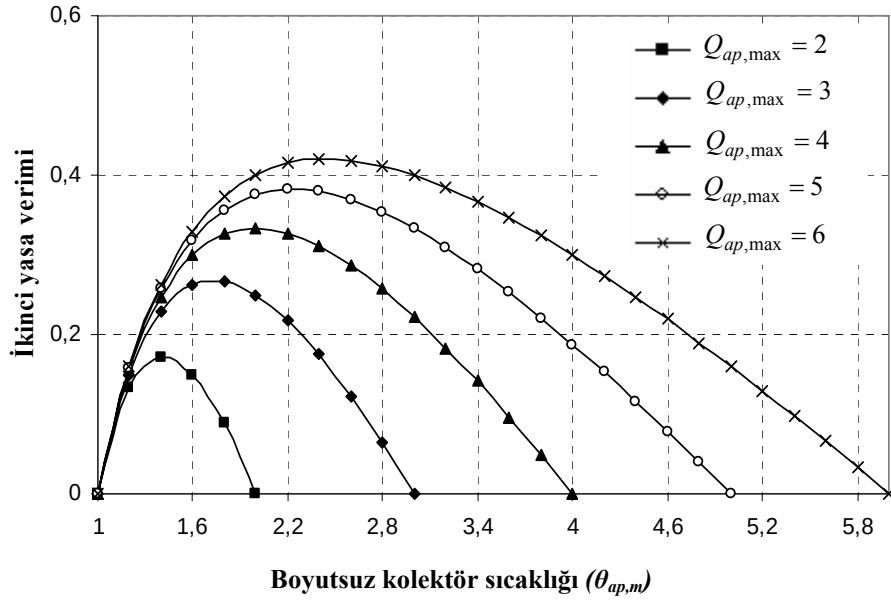
$$\eta_{II} = \left(1 - \frac{\theta_{ap,m} - 1}{\theta_{ap,max} - 1} \right) \left(\frac{\theta_{ap,m} - 1}{\theta_{ap,m}} \right) \left(\frac{Q^*}{Q^* - 1} \right) \quad (5.11)$$

Güneş görünür sıcaklığı çevre sıcaklığından çok yüksek olduğundan $(Q^* / Q^* - 1) = 1$ kabul edilebilir.

$$\eta_{II} = \left(\frac{\theta_{ap,max} - 1 - \theta_{ap,m} + 1}{\theta_{ap,max} - 1} \right) \left(\frac{\theta_{ap,m} - 1}{\theta_{ap,m}} \right) \quad (5.12)$$

$$\eta_{II} = \left(\frac{\theta_{ap,max} - \theta_{ap,m}}{\theta_{ap,max} - 1} \right) \left(\frac{\theta_{ap,m} - 1}{\theta_{ap,m}} \right) \quad (5.13)$$

Şekil 5.4'de kolektörler için ekserji veriminin boyutsuz kolektör ortalama sıcaklığına ($Q_{ap,m}$) ve kolektör maksimum sıcaklığına ($Q_{ap,max}$) göre değişimi verilmiştir.



Şekil 5.4 Boyutsuz kolektör sıcaklığına bağlı kolektör ikinci yasa verimi

5.2. Nonizotermal Modele Göre Kolektörlerin Termodinamik Analizi

Nonizotermal model analizinde ise yutucu yüzey sıcaklığının kolektör boyunca değişimi dikkate alınarak ve durma sıcaklığının etkisi göz ardı edilerek enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Bu analizde, kolektörün her bir bileşeni üzerinde enerji dengelerinin yazılması gerekmektedir

Nonizotermal modelde; 2000 x 1200 x 3 mm düzlemsel seçici yutucu levhaya sahip çift hava kanallı (Tip I), 2000 x 1000 x 3 mm siyah mat kolektör boyası ile boyanmış kıvrımlı galvaniz oluk yutucu levhaya sahip çift hava kanallı (Tip II) ve 2000 x 1000 x 3 mm siyah mat kolektör

boyası ile boyanmış düz yutucu levhaya sahip tek hava kanallı (Tip III) güneş kolektörlerinin enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır.

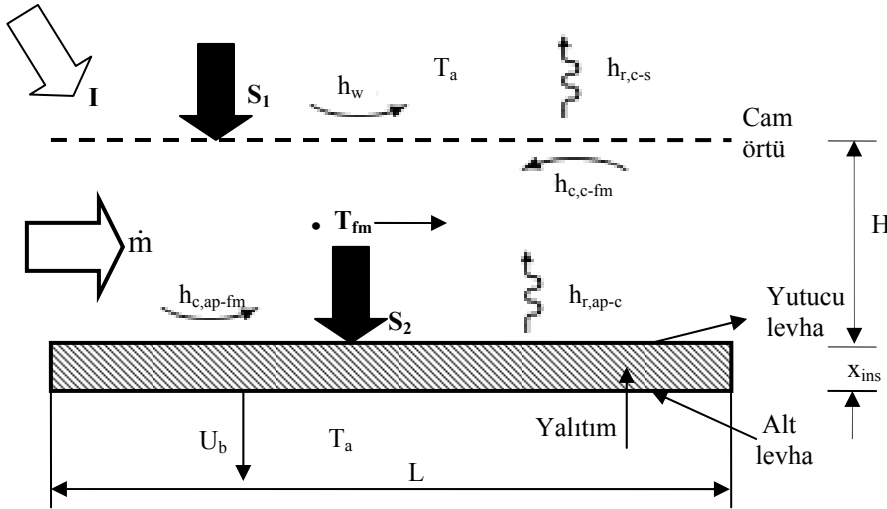
Kolektörlerin matematiksel modellenmesinde aşağıdaki kabuller yapılmıştır.

- a. Kolektör yanal alanından olan ısı kayıpları çok küçük olduğu için ihmal edilmiştir.
- b. Kolektör ısı verim değerleri kararlı hal koşullarında değerlendirilmiştir.
- c. Isı akışı tek boyutludur.
- d. Gökyüzü, eşdeğer bir gökyüzü sıcaklığında uzun dalga boylu ışıyım için bir siyah cisim olarak kabul edilmiştir.
- e. Cam örtü ve alt levha üzerinden olan kayıpların aynı çevre ortam sıcaklığına gerçekleştiği kabul edilmiştir.
- f. Kolektör verimine durma sıcaklığın etkisi ihmal edilmiştir.
- g. Hava sıcaklığının sadece akış yönünde değiştiği göz önüne alınmıştır.
- h. Tüm hava kanallarından sızıntı olmadığı kabul edilmiştir.
- i. Kolektör üzerindeki toz ve kirin ısı verime olan etkisi ihmal edilmiştir.
- j. Çift hava akışkanlı kolektörlerde, alt ve üst kanaldaki hava debisinin eşit olduğu kabul edilmiştir.
- k. Çift hava akışkanlı kolektörlerde, alt ve üst kanal hava giriş sıcaklıklarının eşit olduğu kabul edilmiştir.

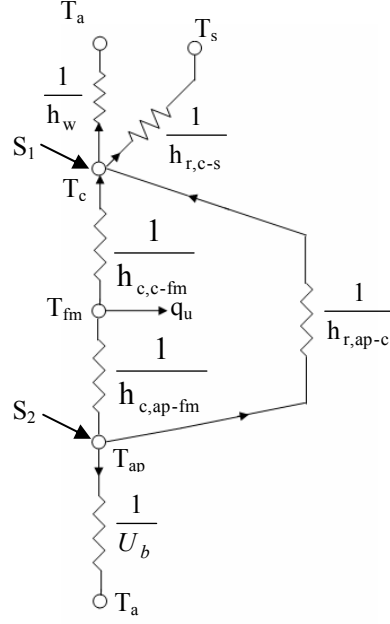
5.2.1 Tek hava kanallı kolektörlerin nonizotermal enerji analizi

Tek hava kanallı kolektörler; üst tarafta cam örtü, alt tarafta yutucu levha ve bunu çevreleyen yalıtımlı bir kasadan oluşmaktadır. Cam örtü ile yutucu levha arasındaki kanalda ise hava akışı olmaktadır. Güneşten gelen I (W/m^2) şiddetindeki güneş ışınımının S_1 (W/m^2) kadarı cam örtüden geçer ve S_2 (W/m^2) kadarı yutucu levha tarafından yutulur. Yutucu levha ısısını, kanaldaki havaya taşınım yolu ile transfer eder.

Şekil 5.5’de tek hava kanallı düzlemsel yutucuya sahip hava akışkanlı güneş kolektörü için enerji dengesini gösteren bir şema gösterilmiştir. Tek hava kanallı kolektörlerde, kararlı haldeki ısı transfer analizini yapabilmek için oluşturulan elektrik benzeşim şeması Şekil 5.6’da verilmiştir.



Şekil 5.5. Tek hava kanallı düzlemsel güneş kolektörü



Şekil 5.6. Tek hava kanallı kolektör için elektrik benzeşim ağı

Cam örtü üzerindeki enerji kazançları; cam tarafından yutulan güneş ışınımı S_1 , yutucu levhadan cam örtüye ışınlım ve akışkan ortalama sıcaklığından taşınım ile olan ısı transferleridir. Enerji kayıpları ise; rüzgârdan dolayı taşınım ve ışınlım ile çevreye olan ısı transferleridir. Dolayısıyla, cam örtü üzerindeki enerji dengesi denklem 5.14 ile ifade edilir.

$$S_1 + h_{r,ap-c} (T_{ap} - T_c) + h_{c,c-f} (T_{fm} - T_c) = h_w (T_c - T_a) + h_{r,c-s} (T_c - T_s) \quad (5.14)$$

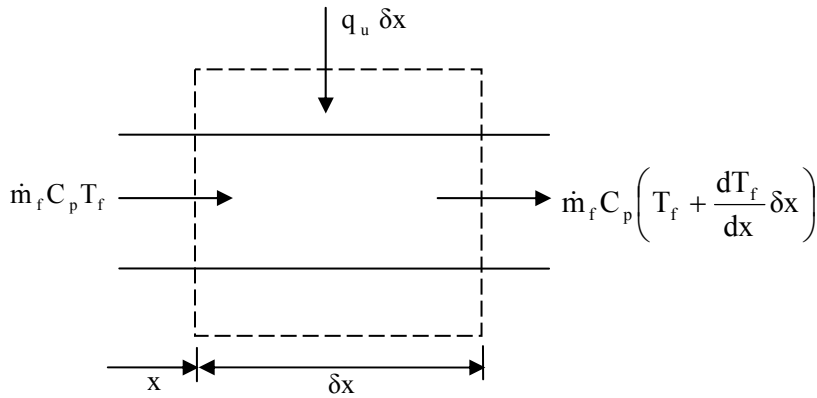
Yutucu levha birim alanı tarafından yutulan güneş ışınımı S_2 ; cam örtüye ışınlım ile, akışkana taşınım ile ve alt levha üzerinden iletim ile olan ısı transferine dağıtılır. Yutucu levha için enerji dengesi denklem 5.15 ile ifade edilir.

$$S_2 = h_{r,ap-c} (T_{ap} - T_c) + h_{c,ap-fm} (T_{ap} - T_{fm}) + U_b (T_{ap} - T_a) \quad (5.15)$$

Akışkan için, yutucu levhadan ve cam örtüden taşınım ile kazanılan ısı kazancı, akışkanla taşınan yararlı ısıya (q_u) eşittir ve denklem 5.16 ile ifade edilir.

$$h_{c,ap-fm} (T_{ap} - T_{fm}) + h_{c,c-fm} (T_c - T_{fm}) = q_u \quad (5.16)$$

Tek hava kanallı güneş kolektörünün girişinden x mesafede δx kalınlığındaki bir elemanın içine ve dışına olan ısı akışının şematik gösterimi Şekil 5.7’de verilmiştir.



Şekil 5.7. Akış boyunca eleman üzerindeki enerji dengesi

Kolektör girişinden x mesafedeki hava akışı sıcaklığını T_f ve sıcaklığın kesit alanı boyunca üniform değiştiği kabul edilirse kesit çıkışındaki ($x+\delta x$) ortalama akışkan sıcaklığı $[T_f + (dT_f / dx)\delta x]$ olur. Eleman için ısı dengesi aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\dot{m}C_p T_f + q_u W \delta x = \dot{m}C_p \left[T_f + \left(\frac{dT_f}{dx} \right) \delta x \right] \quad (5.17)$$

Denklem 5.17 sadeleştirilir ve δx ile bölünürse kolektör girişinden x mesafedeki akışkan sıcaklığı denklem 5.18'den bulunabilir.

$$\frac{dT_f}{dx} = \frac{q_u W}{\dot{m}C_p} \quad (5.18)$$

Havaya transfer edilen yararlı ısının L uzunluğundaki kolektör boyunca üniform olarak değiştiği kabul edilirse, kolektör çıkışındaki ortalama hava sıcaklığı denklem 5.18'in integralinin alınmasıyla bulunur.

$$T_{fo} - T_{fi} = \frac{q_u WL}{\dot{m}C_p} \quad (5.19)$$

Ortalama akışkan sıcaklığı $T_{fm} = (T_{fi} + T_{fo})/2$ ve giriş sıcaklığı cinsinden akışkanla taşınan ısı kazancı (q_u), denklem 5.20 ile ifade edilir.

$$q_u = 2\dot{m}C_p (T_{fm} - T_{fi})/WL \quad (5.20)$$

Denklem 5.16 ve 5.19 birleştirilirse ısı kazancı aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir.

$$h_{c,ap-fm} (T_{ap} - T_{fm}) + h_{c,c-fm} (T_c - T_{fm}) = 2\dot{m}C_p (T_{fm} - T_{fi})/WL \quad (5.21)$$

Denklem 5.14, 5.15 ve 5.21'den sırasıyla cam örtü T_c , yutucu levha T_{ap} ve ortalama akışkan T_{fm} sıcaklıkları için aşağıdaki eşitlikler bulunabilir.

$$T_c = \frac{S_l + h_{r,ap-c} T_{ap} + h_{c,c-fm} T_{fm} + h_w T_a + h_{r,c-s} T_s}{(h_{r,ap-c} + h_{c,c-fm} + h_w + h_{r,c-s})} \quad (5.22)$$

$$T_{ap} = \frac{S_2 + h_{r,ap-c} T_c + h_{c,ap-fm} T_{fm} + U_b T_a}{(h_{r,ap-c} + h_{c,ap-fm} + U_b)} \quad (5.23)$$

$$T_{fm} = \frac{h_{c,ap-fm} (T_{ap} + T_c) + (2\dot{m}C_p T_{fi}/WL)}{2h_{c,ap-fm} + 2\dot{m}C_p/WL} \quad (5.24)$$

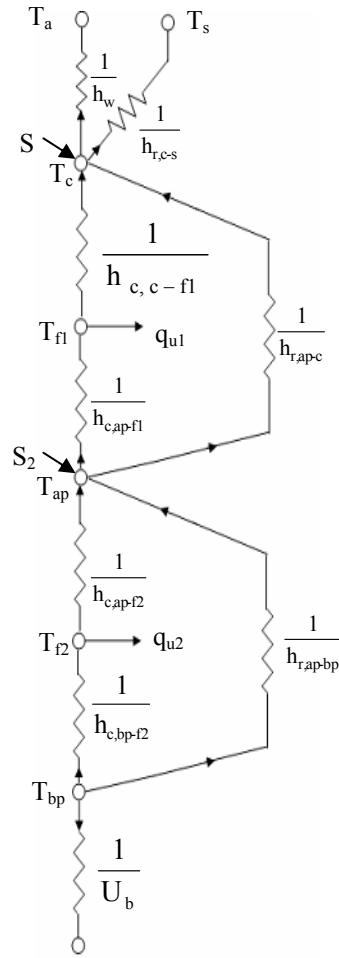
Kolektörün anlık birinci yasa ısı verimi, çalışma akışkanından elde edilen yararlı ısının kolektör birim alanı üzerine gelen güneş ışınlamına oranı olarak tanımlanır ve aşağıdaki eşitlik ile bulunur.

$$\eta_I = \frac{q_u}{I} = \frac{\dot{m}C_p (T_{fo} - T_{fi})}{I} = \frac{2\dot{m}C_p (T_{fm} - T_{fi})}{I} \quad (5.25)$$

5.2.2 Çift hava kanallı kolektörlerin nonizotermal enerji analizi

Çift hava kanallı kolektörler; üst tarafta cam örtü, orta kısımdaki yutucu levha üzerinden ve altında hava akışının olduğu kanallar ve bunları çevreleyen yalıtımlı kasadan meydana gelmektedir. Güneşten gelen I (W/m^2) şiddetindeki güneş ışınlamının S_1 (W/m^2) kadarı cam örtüden geçer ve S_2 (W/m^2) kadarı yutucu levha tarafından yutulur. Yutucu levha ısını, alt ve üst kanaldaki havaya taşınım yolu ile transfer eder.

Şekil 5.8’de enerji dengesi gösterilen yutucu levha üzerinden ve altından hava akışı olan seçici ve siyah mat kolektör boyası ile boyanmış galvaniz oluklu yutucu levhalara sahip çift hava kanallı güneş kolektörlerinin enerji analizi yapılmıştır.



Şekil 5.9. Çift hava kanallı kolektör için elektrik benzeşim ağı

Yutucu levha birim alanı tarafından S_2 (W/m^2) değerinde yutulan ısı; taşınım ile alt ve üst kanaldaki akışkan havaya, ıslanım ile alt levha ve cam örtüye transfer edilir. Buna bağlı olarak yutucu levha üzerindeki enerji dengesi aşağıdaki eşitlikle ifade edilir.

$$S_2 = h_{c,ap-f2m}(T_{ap} - T_{f2m}) + h_{c,ap-flm}(T_{ap} - T_{flm}) + h_{r,ap-bp}(T_{ap} - T_{bp}) + h_{r,ap-c}(T_{ap} - T_c) \quad (5.27)$$

Üst kanaldaki akışkan için; taşınım ile yutucu levhadan ve cam örtü tarafından kazanılan ısı, üst kanalda akışkanla taşınan ısı kazancına (q_{u1}) aktarılır. Enerji dengesi denklem 5.28 ile ifade edilir.

$$h_{c,ap-f1m}(T_{ap} - T_{f1m}) + h_{c,c-f1m}(T_c - T_{f1m}) = q_{u1} \quad (5.28)$$

Alt kanaldaki akışkan için; taşınım ile yutucu levha ve alt levhadan kazanılan ısı, alt kanalda akışkanla taşınan ısı kazancına (q_{u2}) aktarılır. Enerji dengesi denklem 5.29 ile ifade edilir.

$$h_{c,ap-f2m}(T_{ap} - T_{f2m}) + h_{c,bp-f2m}(T_{bp} - T_{f2m}) = q_{u2} \quad (5.29)$$

Şekil 5.7'den faydalanılarak, havaya transfer edilen ısıнын L uzunluğundaki kolektör boyunca üniform kabul edilmesiyle, sırasıyla yutucu levha üstündeki ve altındaki kanaldan çıkan havanın ortalama sıcaklığı denklem 5.30 ve 5.31 ile ifade edilir.

$$T_{f1o} - T_{f1i} = \frac{q_{u1} WL}{\dot{m}_{f1} C_p} \quad (5.30)$$

$$T_{f2o} - T_{f2i} = \frac{q_{u2} WL}{\dot{m}_{f2} C_p} \quad (5.31)$$

Üst ve alt kanaldaki ortalama akışkan sıcaklıkları sırasıyla $T_{f1m} = (T_{f1i} + T_{f1o})/2$ ve $T_{f2m} = (T_{f2i} + T_{f2o})/2$ olduğuna göre, akışkan giriş sıcaklığı cinsinden akışkan tarafından taşınan ısı kazancı (q_{u1}) ve (q_{u2}) sırasıyla denklem 5.32 ve 5.33 ile tanımlanır.

$$q_{u1} = \frac{2\dot{m}_{f1} C_p (T_{f1m} - T_{f1i})}{WL} \quad (5.32)$$

$$q_{u2} = \frac{2\dot{m}_{f2} C_p (T_{f2m} - T_{f2i})}{WL} \quad (5.33)$$

Denklem 5.32, denklem 5.28’de ve denklem 5.33, denklem 5.29’da yerine konulursa sırasıyla üst ve alt kanaldaki ısı kazançları aşağıdaki eşitlikler ile hesaplanabilir.

$$h_{c,ap-f1m} (T_{ap} - T_{f1m}) + h_{c,c-f1m} (T_c - T_{f1m}) = \frac{2\dot{m}_{f1} C_p (T_{f1m} - T_{f1i})}{WL} \quad (5.34)$$

$$h_{c,ap-f2} (T_{ap} - T_{f2m}) + h_{c,bp-f2} (T_{bp} - T_{f2m}) = \frac{2\dot{m}_{f2} C_p (T_{f2m} - T_{f2i})}{WL} \quad (5.35)$$

Son olarak alt taraftaki düzlemsel levha için, alt kanaldaki akışkan tarafından taşınım ve yutucu levhadan ışınlama ile kazanılan ısı transferi, alt levha üzerinden iletim ve taşınım çevre ortama olan ısı transfer oranına eşittir. Buna bağlı olarak alt levha için enerji dengesi aşağıdaki eşitlikle ifade edilir.

$$h_{c,f2m-bp} (T_{f2m} - T_{bp}) + h_{r,ap-bp} (T_{ap} - T_{bp}) = U_b (T_{bp} - T_a) \quad (5.36)$$

Denklem 5.26, 5.27, 5.34, 5.35 ve 5.36’dan sırasıyla cam örtü T_c , yutucu levha T_{ap} , üst kanal ortalama akışkan T_{f1m} , alt kanal ortalama akışkan T_{f2m} ve alt levha T_{bp} sıcaklıkları için aşağıdaki eşitlikler bulunabilir.

$$T_c = \frac{S_1 + h_{r,ap-c} T_{ap} + h_{c,c-f1m} T_{f1m} + h_w T_a + h_{r,c-s} T_s}{(h_{r,ap-c} + h_{c,c-f1m} + h_w + h_{r,c-s})} \quad (5.37)$$

$$T_{ap} = \frac{S_2 + h_{c,ap-f1m} T_{f1m} + h_{c,ap-f2m} T_{f2m} + h_{r,ap-bp} T_{bp} + h_{r,ap-c} T_c}{(h_{c,ap-f1m} + h_{c,ap-f2m} + h_{r,ap-bp} + h_{r,ap-c})} \quad (5.38)$$

$$T_{f1m} = \frac{h_{c,ap-f1m} T_{ap} + h_{c,c-f1m} T_c + \left(\frac{2\dot{m}_{f1} C_p T_{f1i}}{WL} \right)}{h_{c,ap-f1m} + h_{c,c-f1m} + \left(\frac{2\dot{m}_{f1} C_p}{WL} \right)} \quad (5.39)$$

$$T_{f2m} = \frac{h_{c,ap-f2m} T_{ap} + h_{c,bp-f2m} T_{bp} + \left(\frac{2\dot{m}_f C_p T_{f2i}}{WL} \right)}{h_{c,ap-f2m} + h_{c,bp-f2m} + \left(\frac{2\dot{m}_f C_p}{WL} \right)} \quad (5.40)$$

$$T_{bp} = \frac{h_{c,f2m-bp} T_{f2m} + h_{r,ap-bp} T_{ap} + U_b T_a}{h_{c,bp-f2m} + h_{r,ap-bp} + U_b} \quad (5.41)$$

Çift hava kanallı güneş kolektörleri için anlık birinci yasa verimi denklem 5.42 ile tanımlanır.

$$\begin{aligned} \eta_I &= \frac{q_{top}}{I} = \frac{q_{u1} + q_{u2}}{I} = \frac{\dot{m}_{f1} C_p (T_{f1o} - T_{f1i}) + \dot{m}_{f2} C_p (T_{f2o} - T_{f2i})}{I} \\ &= \frac{2\dot{m}_{f1} C_p (T_{f1m} - T_{f1i}) + 2\dot{m}_{f2} C_p (T_{f2m} - T_{f2i})}{I} \end{aligned} \quad (5.42)$$

5.2.3 Hava akışkanlı kolektörlerin nonizotermal ekserji analizi

Ekserji, tersinmez sistemlerdeki veya proseslerdeki entropi üretiminden kaynaklanan kullanılabilir enerjideki kayıp olarak veya bir sistem referans çevre sıcaklığı ile eşit duruma geldiğinde sistem tarafından üretilebilen maksimum iş miktarı olarak tanımlanır. Ekserji, enerji gibi bir korunum kanunu değildir, aksine herhangi bir gerçek prostedeki tersinmezliklerden dolayı ekserjinin tüketileceğini veya kaybolacağını ifade eder. Bir proses sırasındaki ekserji tüketimi, prosesle

ilgili tersinmezliklerden kaynaklanan entropi üretimi ile doğru orantılıdır. (Dinçer ve Rosen,2005; Hepbasli, 2008).

Ekserji analizi, enerji ve diğer sistemlerin analizi, tasarımı ve iyileştirilmesi için termodinamiğin ikinci kanunu ile beraber kütle ve enerji korunumu prensiplerinin kullanıldığı bir tekniktir. Ekserji analizi atık ve kayıpların büyüklüğünü, tipini ve yerlerini belirlemeye yardımcı olan ve enerji kaynaklarının verimlerini iyileştirmek için kullanılan bir tekniktir. Daha anlamlı verimlilikler enerji analizinden ziyade ekserji analizi ile değerlendirilir, çünkü ekserji verimleri bir prosesin veriminin ideale ne kadar yaklaştığını gösterir (Dincer,2002).

Güneş kolektörlerindeki en önemli amaç, kolektör ısı verimini ve aynı zamanda toplanan ısı enerji ve gerekli pompa gücü arasındaki farkı maksimum yapabilmek, en önemli problem ise güneş enerjisinin toplanması ve minimum kayıpla kullanım noktasına dağıtılmasıdır.

Güneş kolektörü sistemlerinde meydana gelen enerji dönüşümleri; güneş ve kolektör arasındaki ısı değişimi, kolektörden çevreye olan ısı transferi ve basınç kaybı gibi iç kayıplardır. Bu dönüşümler doğal olarak bu sistemlerde tersinmezliklere neden olur. Güneş kolektörleri bir giriş ve bir çıkışı olan açık sistem olarak düşünülebilir.

Hava akışkanlı güneş kolektörlerinin ekserji analizi aşağıdaki kabuller doğrultusunda yapılmıştır.

- Sistem kararlı hal koşullarında çalışmaktadır.
- Potansiyel, kinetik enerji etkileri ihmal edilmiş ve kimyasal veya nükleer reaksiyonların olmadığı kabul edilmiştir.
- Sistem bir giriş ve bir çıkışa sahiptir.

- Hava ideal gaz olarak kabul edilmiş ve nem içeriği ihmal edilmiştir.
- Sistem içinde iş etkileşiminin olmadığı kabul edilmiştir.
- Sisteme olan ısı transferi ve sistemden olan iş transferi yönleri pozitif kabul edilmiştir.

Kararlı hal koşullarında çalışan ve kararlı akış prosesinde, iş ve ısı etkileşimlerini, ekserji artış oranını, tersinmezlik oranını, enerji ve ekserji verimliklerini hesaplayabilmek için dört denge denklemi (kütle, enerji, entropi ve ekserji) kullanılır.

Kütle dengesi denklemi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\sum \dot{m}_i = \sum \dot{m}_o \quad (5.43)$$

Genel enerji dengesi, giren enerji miktarının çıkan enerji miktarına oranı olarak tanımlanır ve denklem 5.44 ile ifade edilir.

$$\sum \dot{E}_i = \sum \dot{E}_o \quad (5.44)$$

Elektrik, manyetik, yüzey gerilmesi ve nükleer reaksiyonların olmadığı durumlarda, bir sistemin toplam ekserjisi; $\dot{E}_x$, fiziksel ekserji $\dot{E}_x^{PH}$, kinetik ekserji $\dot{E}_x^{KN}$, potansiyel ekserji $\dot{E}_x^{PT}$ ve kimyasal ekserji $\dot{E}_x^{CH}$ olarak dörde ayrılabilir (Hepbasli,2008).

$$\dot{E}_x = \dot{E}_x^{PH} + \dot{E}_x^{KN} + \dot{E}_x^{PT} + \dot{E}_x^{CH} \quad (5.45)$$

Genel ekserji dengesi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\sum \dot{E}_{x_i} - \sum \dot{E}_{x_o} = \sum \dot{E}_{x_{dest}} \quad (5.46)$$

veya güneş kolektörlerine uygulanırsa

$$\dot{E}x_{sol} - \dot{E}x_{work} + \dot{E}x_{mass,i} - \dot{E}x_{mass,o} = \dot{E}x_{dest} \quad (5.47)$$

Denklem 5.47'den yararlanılarak güneş kolektörleri için ekserji dengesi aşağıdaki şekilde de ifade edilebilir.

$$\dot{E}x_{sol} + \sum \dot{m}_i \psi_i = \dot{I} + \dot{E}x_{work} + \sum \dot{m}_o \psi_o \quad (5.48)$$

Denklem 5.48'in sol tarafındaki birinci terim güneş ışıınının ekserji içerik oranıdır. İkinci terim ise, sisteme kütle ile taşınan ekserji akışıdır. Verilen koşullar altında akışın kullanılabilirliği, sistem ısı ve mekanik olarak çevresiyle eşit duruma geldiği ölü haldeki koşullar arasındaki fark olarak tanımlanır. Sağ tarafındaki birinci terim sistem içindeki tersinmezlik oranı veya kayıp iş, ikinci terim sistem tarafından üretilen iş ekserjisi ve son terim sistemden kütle yolu ile taşınan akış ekserjisidir.

Yukarıda tanımlanan kabuller doğrultusunda hava akışkanlı güneş kolektörü için ekserji dengesi denklem 5.49 ile ifade edilebilir.

$$\dot{E}x_{sol} + \sum \dot{m}_i \psi_i = \dot{I} + \sum \dot{m}_o \psi_o \quad (5.49)$$

Güneş ışıını ekserjisi, literatürde iki şekilde tanımlanmıştır (Kotas 1985, Petela, 2003).

$$\dot{E}x_{sol} = IA_{col} \left(1 - \frac{T_a}{T_{sol}} \right) \quad (5.50)$$

$$\dot{E}x_{sol} = IA_{col} \left[1 - \frac{4}{3} \frac{T_a}{T_{sol}} + \frac{1}{3} \left(\frac{T_a}{T_{sol}} \right)^4 \right] \quad (5.51)$$

Denklem 5.50 ve 5.51’de, T_a (K) çevre sıcaklığı, T_{sol} (K) güneş yüzey sıcaklığıdır ve bu çalışmada 6000 K olarak alınmıştır. Burada, I (W/m^2) kolektör yüzeyine gelen güneş ışıınımı şiddeti ve A_{col} (m^2) kolektör yüzey alanıdır.

Sisteme giren güneş ışıınımı ekserjisi denklem 5.50 ve 5.51’de verilmiştir. Sistemden kütle yolu ile çıkan akış ekserjisi denklem 5.52 ile hesaplanabilir.

$$\dot{E}x_o = (h_o - h_i) - T_a (s_o - s_i) \quad (5.52)$$

Sisteme giren ve çıkan ekserji değerleri denklem 5.46’da yerine konulursa güneş ışıınımı ekserjisi aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir.

$$\dot{E}x_{sol} = \dot{m}[(h_o - h_i) - T_a (s_o - s_i)] + \dot{I} \quad (5.53)$$

Kolektör içindeki havanın entalpi ve entropi değişimleri sırasıyla denklem 5.54 ve 5.55 yardımıyla bulunabilir (Kotas, 1985).

$$\Delta h = h_o - h_i = C_p (T_{fo} - T_{fi}) \quad (5.54)$$

$$\Delta s = s_o - s_i = C_p \ln \frac{T_{fo}}{T_{fi}} - R \ln \frac{P_o}{P_i} \quad (5.55)$$

Tersinmezlik sıcaklık ve basıncın fonksiyonu olarak denklem 5.56 ile tanımlanır.

$$\dot{I} = \dot{m} \left[C_p (T_{fi} - T_{fo}) - T_a \left(C_p \ln \frac{T_{fi}}{T_{fo}} - R \ln \frac{P_i}{P_e} \right) \right] + \dot{E}x_{sol} \quad (5.56)$$

Basınç düşümü cinsinden denklem 5.56 aşağıdaki gibi yeniden düzenlenebilir.

$$\dot{I} = \dot{m} C_p \left[T_{fi} - T_{fo} + T_a \ln \frac{T_{fo}}{T_{fi}} \right] - \dot{m} R T_a \ln \left[1 - \frac{\Delta P}{P_i} \right] + \dot{E}x_{sol} \quad (5.57)$$

Tersinmezlik ifadesi için denklem 5.53 düzenlenirse

$$\dot{I} = \dot{E}x_{sol} - \dot{m} [(h_o - h_i) - T_a (s_o - s_i)] \quad (5.58)$$

Bir sistem veya bileşendeki ekserji kaybı, çevre mutlak sıcaklığı ile entropi üretiminin çarpılması ile bulunur.

$$\dot{I} = T_a S_{gen} \quad (5.59)$$

Kolektörler için ekserji (ikinci yasa) verimi, çıkış ekserjisinin giriş ekserjisine oranı olarak tanımlanır ve denklem 5.60 ile ifade edilir.

$$\eta_{II} = \frac{\Delta \dot{E}x_o}{\Delta \dot{E}x_i} = \frac{\dot{m} [(h_o - h_i) - T_a (s_o - s_i)]}{\dot{E}x_{sol}} = 1 - \frac{\dot{I}}{\Delta \dot{E}x_i} \quad (5.60)$$

Sisteme giren güneş ışıını ekserjisi literatürde iki şekilde tanımlanmıştır. Metot I ve Metot II’de bu eşitlikler göz önüne alınarak oluşturulan ikinci yasa verimleri verilmiştir.

Metot I;

Metot I’de, güneş ışınmı ekserjisi için önerilen denklem 5.50 kullanılırsa hava akışkanlı güneş kolektörleri için ikinci yasa verimi aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir.

$$\eta_{II} = \frac{\dot{m}C_p \left[(T_{fo} - T_{fi}) - \ln \left(\frac{T_{fo}}{T_{fi}} \right) \right]}{IA_{col} (1 - (T_a/T_{sol}))} \quad (5.61)$$

$$= 1 - \frac{T_a S_{gen}}{(1 - (T_a/T_{sol})) IA_{col}}$$

Metot II;

Metot II’de, güneş ışınmı ekserjisi için Petela (2003) tarafından önerilen denklem 5.51 kullanılırsa hava akışkanlı güneş kolektörleri için ikinci yasa verimi aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir.

$$\eta_{II} = \frac{\dot{m}C_p \left[(T_{fo} - T_{fi}) - \ln \left(\frac{T_{fo}}{T_{fi}} \right) \right]}{IA_{col} \left[1 - \frac{4}{3} \frac{T_a}{T_{sol}} + \frac{1}{3} \left(\frac{T_a}{T_{sol}} \right)^4 \right]} \quad (5.62)$$

$$= 1 - \frac{T_a S_{gen}}{\left[1 - \frac{4}{3} \frac{T_a}{T_{sol}} + \frac{1}{3} \left(\frac{T_a}{T_{sol}} \right)^4 \right] IA_{col}}$$

5.2.4 Işınım ve ısı transfer katsayılarının belirlenmesi

Nonizotermal analizde kolektör bileşenleri üzerindeki enerji denklıkları denklem 5.14-5.42’de verilmiştir. Bu bölümde, bu eşitliklerde tanımlanan ısınım ve ısı transfer katsayıları ifadeleri tanımlanmıştır.

S_1 , gelen güneş ısınımı şiddetinin cam örtü tarafından yutulan kısmıdır ve denklem 5.63 ile ifade edilir.

$$S_1 = \alpha_c I \quad (5.63)$$

Cam örtü üzerine gelen ısınım şiddeti I (W/m^2), cam örtünün ısınım geçirme katsayısı τ_c ve yutucu levhanın güneş ısınımı yutma katsayısı α_{ap} ise, birim alan başına yutucu levha tarafından yutulan güneş ısınımı S_2 (W/m^2) denklem 5.64’de verilmiştir (Duffie ve Beckman,1991):

$$S_2 = \tau_c \alpha_{ap} I \quad (5.64)$$

Rüzgâr nedeniyle cam örtü üzerinden olan ısı taşınım katsayısı için McAdams (1954) ve Watmuff v.d. (1977) tarafından Çizelge 5.1’de verilen eşitlikler kullanılabilir (Ong,1995b).

Çizelge 5.1 Rüzgârın oluşturduğu ısı taşınım katsayısı için önerilen eşitlikler

Araştırmacı	Önerilen eşitlik (W/m^2)
McAdams (1954)	$h_w = 5,7 + 3,8 V_w$
Watmuff v.d. (1977)	$h_w = 2,8 + 3,3 V_w$

Çizelge 5.1’de, V_w (m/s) çevre ortamdaki rüzgâr hızıdır ve bu tez kapsamında McAdams (1954) tarafından önerilen eşitlik kullanılmıştır.

Camdan gökyüzüne ve cam örtü ile yutucu levha arasındaki ısıtım ısı transfer katsayısı sırasıyla denklem 5.65 ve 5.66, çift hava kanallı kolektörler için geçerli olan yutucu levha ile alt levha arasındaki ısıtım ısı transfer katsayısı denklem 5.67 ile hesaplanır (Duffie ve Beckman,1991).

$$h_{r,c-s} = \sigma \epsilon_c (T_c + T_s) (T_c^2 + T_s^2) \frac{(T_c - T_s)}{(T_c - T_a)} \quad (5.65)$$

$$h_{r,ap-c} = \frac{\sigma (T_{ap}^2 + T_c^2) (T_{ap} + T_c)}{1/\epsilon_{ap} + 1/\epsilon_c - 1} \quad (5.66)$$

$$h_{r,ap-bp} = \frac{\sigma (T_{ap}^2 + T_{bp}^2) (T_{ap} + T_{bp})}{1/\epsilon_{ap} + 1/\epsilon_{bp} - 1} \quad (5.67)$$

Denklem 5.65, 5.66 ve 5.67’de, $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/(m}^2 \text{K}^4)$ Stefan-Boltzmann sabiti, ϵ_c cam örtünün ısıtım yayma katsayısı ve T_s gökyüzü sıcaklığı olup Swinbank (1963) tarafından aşağıda verilen eşitlikle bulunabilir.

$$T_s = 0.0552 T_a^{1.5} \quad (5.68)$$

Kolektör alt levha birim alanı üzerinden çevre ortama olan ısı transferi U_b , denklem 5.69 ile tanımlanır.

$$U_b = \frac{1}{\sum_{i=1}^n (x_{ins}/k_{ins}) + 1/h_w} \quad (5.69)$$

Denklem 5.69’da, x_{ins} ısı yalıtım malzemesinin kalınlığı ve k_{ins} ısı yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısıdır.

Akışkan için ısı taşınım katsayısı denklem 5.70 ile tanımlanır (Duffie ve Beckman,1991).

$$h_{c,ap-f} = h_{c,c-f} = h_f = Nu_{ap-f} \frac{k_f}{D_h} \quad (5.70)$$

Denklem 5.70’de, k_f (W/mK) havanın ısı iletim katsayısı, D_h (m) hidrolik çap, Nu_{ap-f} hava kanalı içindeki akışkan için Nu sayısıdır. D_h , denklem 5.71 ile ifade edilir.

$$D_h = \frac{4A_{ch}}{p} = \frac{4(W \times H)}{2(W + H)} = \frac{2WH}{(W + H)} \quad (5.71)$$

Bir boru içindeki akış, akış koşullarına bağlı olarak laminar veya türbülanslı olabilir. Akış koşulları Reynolds sayısına bağlı olarak tanımlanır ve Reynolds sayısına karşılık gelen akış türleri aşağıda verilmiştir (Çengel, 2007).

$Re < 2300$	laminar akış
$2300 < Re < 4000$	ara geçiş
$Re > 10000$	türbülanslı akış

Zorlanmış taşınım, uygulamada kullanılan borular hidrodinamik ve ısı giriş bölgeleri uzunluğunun birkaç katıdır. Bu nedenle, boru boyunca akış çoğu kez tüm boru uzunluğunda tam gelişmiş olarak kabul edilir. Bu basit yaklaşım uzun borular için kabul edilebilir ve kısa borular için makul sonuçlar verir. (Çengel, 2007).

Literatürde zorlanmış taşınım için önerilen bazı eşitlikler bu çalışma kapsamında değerlendirilmiştir.

Bir tarafı ısıtılan ve bir tarafı yalıtılmış, iki levha arasındaki tam gelişmiş türbülanslı hava akışı için Kay (1980) tarafından önerilen aşağıdaki eşitlik kullanılabilir (Yeh ve Lin,1996; Yeh v.d,2000; Ho v.d,2005).

$$Nu_{ap-f} = Nu_{c-f} = 0.0158Re^{0.8} \quad (5.72)$$

Denklem 5.72, McAdams tarafından yapılan küçük değişiklik ile aşağıdaki hale dönüştürülmüştür (Ho v.d,2005; Yeh v.d, 1999).

$$Nu_{ap-f} = Nu_{c-f} = 0.0158Re^{0.8} \left[1 + (D_h/L)^{0.7} \right] \quad (5.73)$$

Düzlemsel yutucu levhaya sahip hava akışkanlı güneş kolektörlerinde yutucu levha ile cam örtü veya yutucu levha ile alt levha arasında zorlanmış akış için aşağıdaki eşitlik kullanılabilir (Hegazy, 1999; Hegazy, 2000a;2000b)

$$Nu_{ap-f} = Nu_{c-f} = \left(\frac{0.0158Re^{0.8} + (0.00181Re + 2.92)}{\exp(-0.03795L/D_h)} \right) \quad (5.74)$$

Kanal içindeki zorlanmış taşınım için Niles (1978) tarafından önerilen aşağıdaki eşitlikte kullanılabilir (Naphon, 2003).

$$Nu_{ap-f} = Nu_{c-f} = 0.0333Re^{0.8} Pr^{1.3} \quad (5.75)$$

Denklem 5.72-5.75’de verilen Reynolds sayısı aşağıdaki eşitlik yardımı ile bulunabilir.

$$Re = \frac{\rho_f V_f D_{h,ch}}{\mu} \quad (5.76)$$

Denklem 5.76’da, $D_{h,ch}$ kanalın hidrolik çapıdır (m) ve denklem 5.77 ile tanımlanır.

$$D_{h,ch} = \frac{4A_{ch}}{p_{ch}} = \frac{4(W \times H)}{2(W + H)} = \frac{2 \times W \times H}{(W + H)} \quad (5.77)$$

Sparrow v.d. (1979) tarafından rüzgâr tüneline yapılan deneysel çalışma sonucu levha üzerindeki $2 \times 10^4 - 9 \times 10^4$ aralığındaki Reynolds sayısı için önerilen Nu bağıntısı denklem 5.78’de verilmiştir (Duffie and Beckman, 1991)

$$Nu_{ap-f} = Nu_{c-f} = 0.86.Re^{0.5}Pr^{0.33} \quad (5.78)$$

Denklem 5.78’de Reynolds sayısı aşağıdaki eşitlik yardımı ile bulunabilir.

$$Re = \frac{\rho_f V_f D_{h,ap}}{\mu} \quad (5.79)$$

Denklem 5.79’da, $D_{h,ap}$ yutucu levhanın hidrolik çapıdır ve denklem 5.80 ile tanımlanır.

$$D_{h,ap} = \frac{4A_{ap}}{p_{ap}} = \frac{4(W_{ap} \times L_{ap})}{2(W_{ap} + L_{ap})} = \frac{2 \times W_{ap} \times L_{ap}}{(W_{ap} + L_{ap})} \quad (5.80)$$

Denklem 5.75 ve 5.78’de, Pr boyutsuz Prandtl sayısıdır. Pr , akışkanın ısı geçişi özelliğini gösterir ve momentum yayılım katsayısının (viskozite) ısı yayılım katsayısına oranı olarak tanımlanır:

$$Pr = \frac{v}{\alpha_f} = \frac{C_p \mu}{k_f} \quad (5.81)$$

Oluklu yutuculara sahip hava akışkanlı güneş kolektörleri için, kanal içindeki taşınım için denklem 5.82 ile ifade edilir (Lin v.d., 2006; Gao v.d., 2007).

$$Nu_{ap-f} = Nu_{c-f} = 0.0743Re^{0.76} \quad (5.82)$$

Denklem 5.82’de, Re boyutsuz Reynolds sayısıdır ve aşağıdaki eşitlik yardımıyla bulunur.

$$Re = \frac{\rho_f V_f D_{h,ch}}{\mu} \quad (5.83)$$

Burada, ρ_f (kg/m^3) kolektör içinde dolaşan havanın yoğunluğu, V_f (m/s) kolektöre giren havanın hızı, μ (kg/sm) havanın dinamik viskozitesi ve $D_{h,ch}$ kanalın hidrolik çapıdır ve denklem 5.76’dan hesaplanabilir.

Çift hava kanallı seçici yüzeyli düzlemsel kolektör ve tek hava kanallı düzlemsel kolektör için denklem 5.72, 5.73, 5.74, 5.75 ve 5.78 ile verilen eşitlikler modelde yerine konulmuş ve kanal içindeki akışkan sıcaklıkları her bir modelde birbirine yakın çıkmasına rağmen deneylerde ölçülen yutucu levha sıcaklıklarına yakın değerler seçici yüzeyli kolektör için Sparrow (1979) tarafından önerilen eşitlikle ve tek hava kanallı düzlemsel kolektör için ise Niles (1978) tarafından önerilen eşitlikle elde edilmiştir. Dolayısıyla, seçici yüzeyli kolektörün matematiksel modellemelerinde Sparrow (1979) tarafından verilen denklem 5.78, tek hava kanallı düzlemsel hava akışkanlı kolektörün matematiksel modellemelerinde denklem 5.75 kullanılmıştır. Çift hava kanallı kırırımlı galvaniz oluk yutucu yüzeyli kolektörün matematiksel modellenmesinde denklem 5.82 kullanılmıştır.

5.2.5 Havanın fiziksel özellikleri

Matematiksel modellemelerde havanın fiziksel özellikleri ortalama akışkan sıcaklığında T_{fm} (K) değerlendirilir.

Ong (1995a), havanın fiziksel özellikleri üzerinde yaptığı araştırmada ortalama akışkan sıcaklığına bağlı olarak ısı iletkenlik (k_f), yoğunluk (ρ_f), dinamik viskozite (μ) ve özgül ısı (C_p) özelliklerini aşağıdaki eşitliklerle ifade etmiştir.

$$k_f = 0.02624 + 0.0000758(T_{fm} - 300) \quad (5.84)$$

$$\rho_f = 1.1774 - 0.00359(T_{fm} - 300) \quad (5.85)$$

$$\mu = [1.983 + 0.00184(T_{fm} - 300)] \times 10^{-5} \quad (5.86)$$

$$C_p = 1.0057 + 0.000066(T_{fm} - 300) \quad (5.87)$$

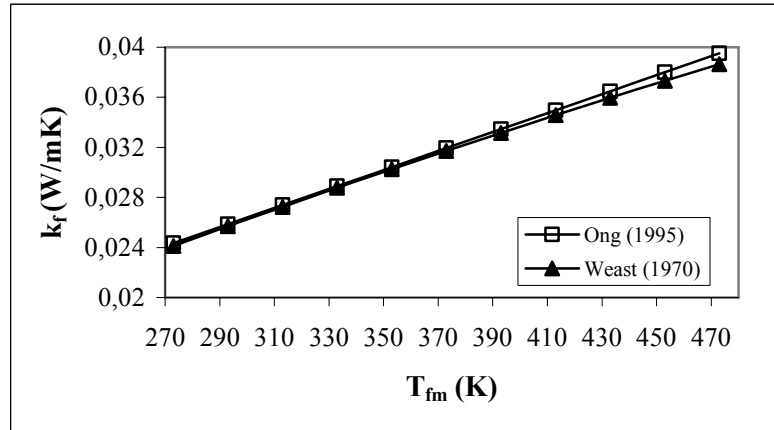
Weast (1970), 280-470 K aralığında ortalama akışkan sıcaklığına bağlı olarak ısı iletkenlik (k_f), yoğunluk (ρ_f) ve dinamik viskozite (μ) değişkenlerini aşağıdaki eşitliklerle ifade etmiştir (Lin v.d.,2006).

$$k_f = (0.0015215 + 0.097459T_{fm} - 3.3322 \times 10^{-5} T_{fm}^2) \times 10^{-3} \quad (5.88)$$

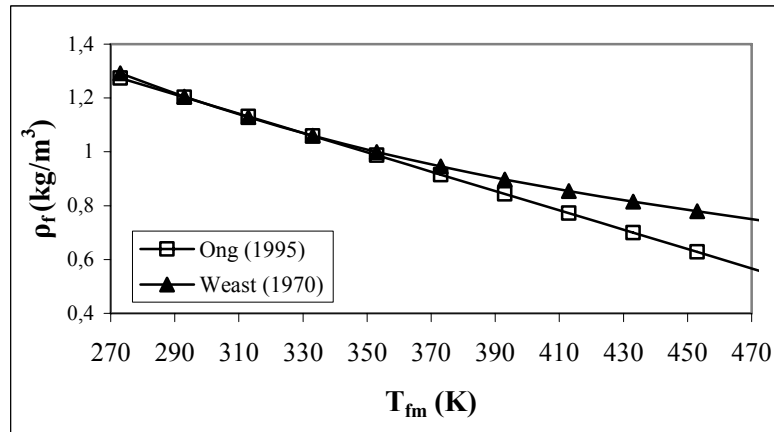
$$\rho_f = 3.9147 - 0.016082T_{fm} + 2.9013 \times 10^{-5} T_{fm}^2 - 1.9407 \times 10^{-8} T_{fm}^3 \quad (5.89)$$

$$\mu = (1.6157 + 0.06523T_{fm} - 3.0297 \times 10^{-5} T_{fm}^2) \times 10^{-6} \quad (5.90)$$

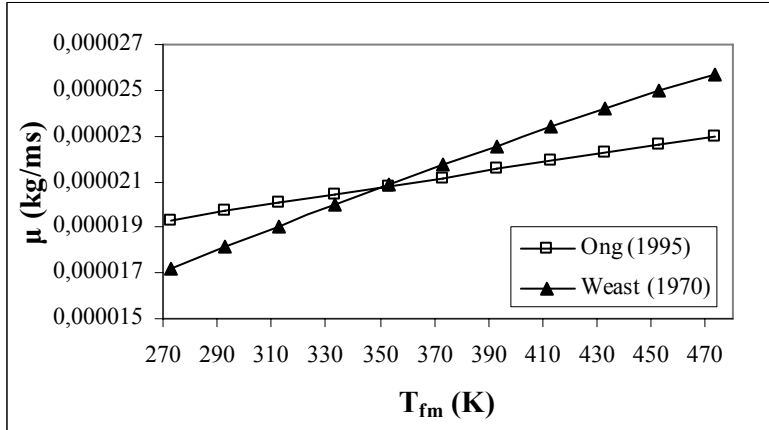
Ong (1995a) ve Weast (1970) eşitliklerine bağlı olarak ortalama akışkan sıcaklığının fonksiyonu olarak bulunan havanın termodinamik özellikleri Şekil (5.10-.12)'de gösterilmiştir.



Şekil 5.10. Hava ısı iletim katsayısının ortalama akışkan sıcaklığına bağlı değişimi



Şekil 5.11. Hava yoğunluğunun ortalama akışkan sıcaklığına bağlı değişimi



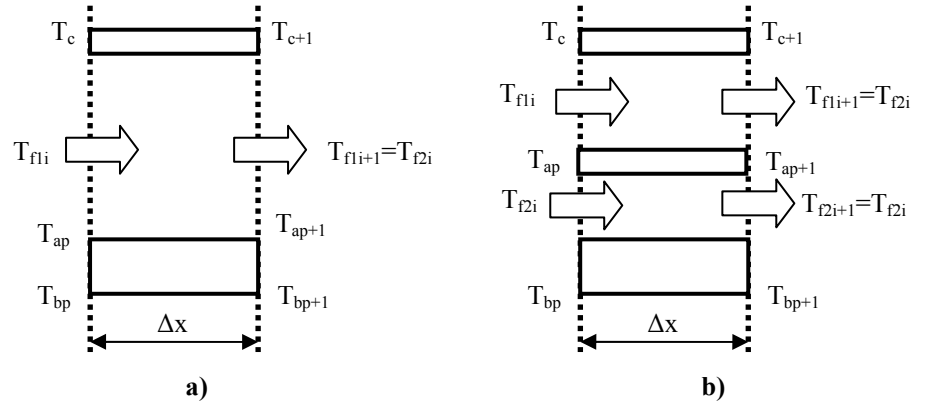
Şekil 5.12. Hava dinamik viskozitesinin ortalama akışkan sıcaklığına bağlı değişimi

Şekil (5.10-5.12)'den görüldüğü gibi sıcaklığa bağlı havanın ısı özellikleri için önerilen eşitliklerden elde edilen havanın termodinamik değerleri farklı çıkmaktadır. Ong ve Weast tarafından önerilen eşitlikler karşılaştırıldığında; havanın ısı iletim katsayısı, yoğunluğu ve dinamik viskozitesi değerleri arasındaki ortalama hata sırasıyla %0,497, %6,922 ve %5,651 olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada, güncel olması nedeniyle hava özelliklerinin değerlendirilmesinde Ong (1995) tarafından önerilen eşitlikler kullanılmıştır.

5.3. Hava Akışkanlı Güneş Kolektörlerinin Sonlu Farklar Metodu ile Matematiksel Çözümü

Bu çalışma kapsamında, hava akışkanlı güneş kolektörlerinin matematiksel modellenmesinde kolektör boyunca cam, yutucu levha ve akışkan hava sıcaklıkları sonlu farklar metodu ile çözümlenmiştir.

L uzunluğundaki bir kolektörün, Δx eşit mesafeli aralıklı ufak kolektörlere bölündüğü kabul edilebilir (Şekil 5.13). Birinci aşamada matematiksel modellemelerde literatürden alınan ısı taşınım katsayıları kullanılarak (seçici yüzey için denklem 5.78, kıvrımlı galvaniz oluk yüzeyli kolektör için denklem 5.82 ve tek hava kanallı düzlemsel kolektör için denklem 5.75) $L=2$ m uzunluğundaki kolektörler için sıcaklıklar $\Delta x=0,25$ m aralıklarla iteratif olarak çözümlenmiştir.



Şekil 5.13. a) Tek hava kanallı b) Çift hava kanallı kolektörlerin matematiksel modellemesinde kullanılan sonlu fark çözümleme şeması

Öncelikle kolektörün birinci kesitindeki; cam, yutucu levha ve akışkan hava sıcaklıkları tahmin edilir ve belirlenir. Isı transfer katsayıları başlangıçta tahmin edilen sıcaklık değerlerine göre hesaplanır. Daha sonra iteratif işlem yapılarak kesit için ortalama sıcaklıklar bulunur. Yeni hesaplanan değerler daha önce tahmin edilen değerlerle kıyaslanır. İteratif işlem sıcaklık farkları 0.01 °C'den az değer elde edilene kadar sürdürülür.

Kolektörün önceki kesitine eşit uzunlukta olan ikinci kesit birinci kesitin sonuna eklenir. Kolektörün ikinci kesitindeki cam, yutucu levha ve akışkan hava sıcaklıkları bundan önceki kesitin sıcaklıklarına eşitlenir. İkinci kesitin hava giriş sıcaklığı birinci kesitin çıkış sıcaklığına eşitlenir ve bu giriş sıcaklığına göre ikinci kesitteki cam, yutucu ve akışkan hava sıcaklıkları iteratif işlemle bulunur. Bu prosedür ile tüm kolektör boyunca cam, yutucu ve ortalama akışkan hava sıcaklıkları belirlenebilir.

Matematiksel modellemelerde ve deneylerde kullanılan çift hava kanallı düzlemsel seçici (Tip I) ve siyah mat kolektör boyası ile boyanmış kıvrımlı galvaniz oluk (Tip II) yutucu levhalara sahip ve tek hava kanallı siyah mat kolektör boyası ile boyanmış düzlemsel (Tip III) kolektörlerin ve elemanlarının fiziksel özellikleri Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Hava akışkanlı güneş kolektörlerinin özellikleri (<http://www.sisecam.com.tr>, <http://www.sunstrip.com.tr>)

Parametre	Tip I	Tip II	Tip III
W (m)	1.2	1	1
L (m)	2	2	2
H ₁ (m)	0,07	0,07	0,04
H ₂ (m)	0,07	0,07	-
ϵ_{ap}	0,07	0,92	0,92
ϵ_c	0,06	0,18	0,18
ϵ_{bp}	0,92	0,92	-
α_{ap}	0,96	0,95	0,95
α_c	0,02	0,01	0,01
τ_c	0,92	0,81	0,81
k _{ins} (W/mK)	0,02	0,02	0,02
x _{ins} (m)	0,04	0,04	0,04

5.4. Hava Akışkanlı Güneş Kolektörlerinde Basınç Düşümü

Basınç düşümü, bir sistemde iki nokta arasında akışa karşı gösterilen dirençten dolayı oluşan basınç farkıdır. Pürüzlü yüzeyler basınç düşümünün artmasına ve dolayısıyla pompa gücünün artmasına, sistem performansının düşmesine ve enerji tüketiminin artmasına neden olmaktadır.

Kolektör boyunca olan basınç düşümü denklem 5.91 ile ifade edilir (Çengel,2007).

$$\Delta P = f \frac{L}{D_h} \frac{\rho V_f^2}{2} \quad (5.91)$$

Burada, f sürtünme faktörüdür ve Petukhov (1970) tarafından pürüzsüz borulardaki türbülanslı akış için verilen denklem 5.92 ile hesaplanabilir (Çengel, 2007).

$$f = (0,79 \ln Re - 1,64)^{-2} \quad (5.92)$$

6. HAVA AKIŞKANLI GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİNİN TESTİ

Enerji üretiminde kullanılan fosil kökenli yakıtların maliyetindeki ve talebindeki artışlar, aynı zamanda çevreye verdiği etkiler nedeniyle insanlar alternatif enerji kaynaklarına yönelmiştir. Temiz ve yenilenebilir enerji kaynağı olarak güneş enerjisi her zaman insanlığın dikkatini çekmesine rağmen, son zamanlarda var olan ilgi daha da artmıştır. Gelişen kalite kavramı nedeniyle kolektör imalatçıları daha verimli kolektör imalatına yönelmek zorunda kalmıştır. Kalite kavramı kapsamında ISO 9806 ve CEN TC132 standartları getirilmiştir.

Güneş kolektörlerinden sağlanabilecek enerji, kolektörlerin verim özelliklerinin bir sonucudur. Verim özellikleri güneş ışıınımı miktarı, dış ortam sıcaklığı, rüzgâr hızı ve kolektör tasarım parametrelerinin (yutucu yüzey ve cam özellikleri, yalıtım cinsi ve kalınlığı v.b) fonksiyonu olarak verilmektedir (Akdemir, 2007).

Pazardaki rekabet dolayısıyla gittikçe artan kolektör çeşitlerinin iklim ve çalışma koşulları altında test edilmesi ve verimlerinin tespit edilmesi sonucu modeller arasında karşılaştırma yapılabilir. Verimlilik deneylerinin şu avantajları vardır:

- Bilinen meteorolojik koşullarda güneş toplama sisteminin ısı verimini tahmin etmek için kullanılan bilgiler sağlanabilir
- Güneş kolektörlerinin tasarımları geliştirilebilir
- Ticari nedenlerden dolayı karşılaştırma için güneş kolektörlerinin verimi değerlendirilebilir
- Verim standartları oluşturulabilir

Standartlarda kolektörler verimlerinin daha iyi kıyaslanabilmesi amacıyla çeşitli kısıtlamalar getirilmiştir. Bu kısıtlamalar; ölçüm cihazlarının hassasiyet aralıkları gibi kontrol edilebilen parametreler ile güneş ışıınımı, dış ortam sıcaklığı ve rüzgâr hızı gibi kontrol edilemeyen parametrelerin belirli bir aralıkta olmasını kapsamaktadır.

6.1. Kolektör Verim Testleri

Kolektör verimleri, laboratuvar ve gerçek dış çevre koşulları olmak üzere iki koşul altında gerçekleştirilebilir. Açık atmosfer şartlarında, belirli güneş ışıınımı, rüzgâr hızı ve çevre sıcaklığı belirli dönemlerde olduğundan bu şartlarda deney yapmak biraz zordur. İç ortam testlerinde, güneş ışıınımı, rüzgâr hızı, gökyüzü sıcaklığı ve çevre sıcaklığı kontrollü koşullar altında yapıldığından dolayı kısmen basittir.

Farklı ülkelerde güneş kolektörlerinin verim deneylerini kapsayan farklı standartlar bulunmaktadır. Bu amaçla geliştirilen bazı standartlar aşağıda verilmiştir.

- ISO 9060:1990 “Solar energy - Specification and classification of instruments for measuring hemispherical solar and direct solar radiation”
- ISO 9806-1:1994 “Test methods for solar collectors – Part 1: Thermal performance of glazed liquid heating collectors including pressure drop”
- ISO 9806-2: 1995 “Test methods for solar collectors – Part 2: Qualification test procedures”

- ISO 9806-3: 1995 “Test methods for solar collectors - Part 3: Thermal performance of unglazed liquid heating collectors (sensible heat transfer only) including pressure drop”
- ISO 9846: 1993 “Solar energy - Calibration of a pyranometer using a pyr heliometer”
- ISO 9847:1992 “Solar energy - Calibration of field pyranometers by comparison to a reference pyranometer”
- ISO/TR 9901:1990 “Solar energy - Field pyranometers - Recommended practice for use”
- EN ISO 9488:2000 “Solar Energy - Vocabulary (ISO 9488:1999)”
- ANSI/ASHRAE 96-1980 (RA 1989) “Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Unglazed Flat-Plate Liquid-Type Solar Collectors”
- ANSI/ASHRAE 93-2003 “Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors”
- DIN EN 12975-1 (2001-03) “Thermal Solar Systems and Components-Solar collectors-Part1: General requirements”
- DIN EN 12975-2 (2001) “Thermal Solar Systems and Components-Solar collectors-Part2: Test Methods”
- TS 3680-1:2003 “Isıl Güneş Enerji Sistemleri ve Bileşenleri-Güneş Enerjisi Kolektörleri-Bölüm 1: Genel Kurallar”
- TS 3680-2:2003 “Isıl Güneş Enerji Sistemleri ve Bileşenleri-Güneş Enerjisi Kolektörleri-Bölüm 2: Deney Metotları”

Türkiye’de TS 3680-1 ve TS 3680-2 standartları sıvı akışkanlı güneş kolektörlerinin ısı veriminin saptanmasında kullanılmaktadır. Bu standartlar AB standardı olan DIN EN 12975-1 ve DIN EN 12975-2 standartlarının içeriğini kapsamaktadır. Hava akışkanlı güneş

kolektörlerinin ısı verim deneylerini kapsayan bir standart henüz ülkemizde mevcut değildir.

6.2. EN 12975-2 ve ASHRAE 93-2003 Standartlarına Göre Hava Akışkanlı Güneş Kolektörlerinin Testi

EN 12975-2 Ve ASHRAE 93-2003 standartlarına göre hava akışkanlı güneş kolektörlerinin verimlilik testi esnasında uyulması gereken kurallar ve gerekli ölçüm cihazları ile hassasiyet aralıkları aşağıda kısaca özetlenmiştir (<http://www.solarkey.dk>).

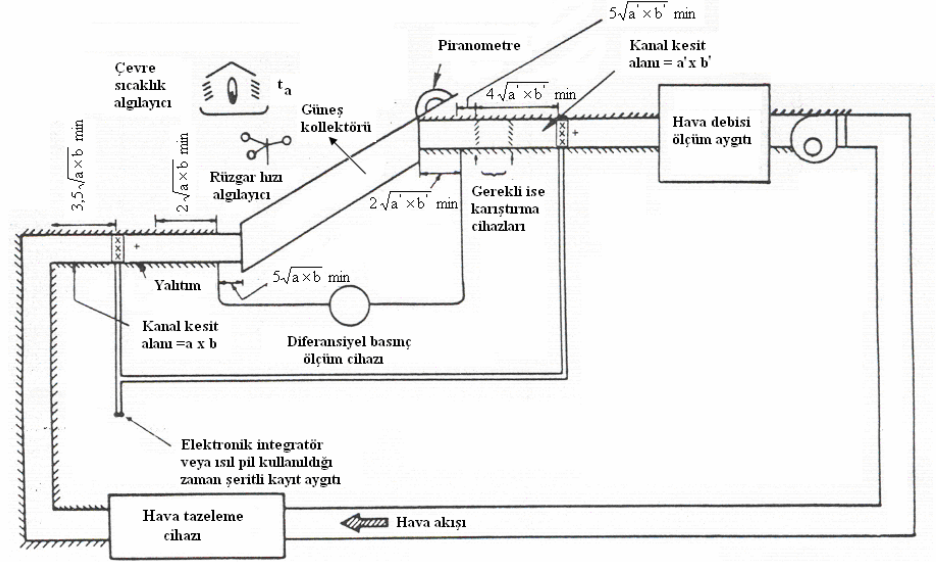
- Kolektör alt kenarı yerel zemin yüzey üzerinden en az 0,5 m yukarıda olacak şekilde yerleştirilmelidir. Yapı duvarlarından yükselen sıcak hava akımlarının, kolektör üzerine geçmesine müsaade edilmemelidir. Kolektör bir binanın çatısında test ediliyorsa, çatı kenarından en az 2 m uzağa yerleştirilmelidir.
- Kolektörler üretici tarafından belirlenen veya gerçek kurulumlar için belirlenen eğimlerde test edilmelidir. Bunun dışında, kolektörler güneşe yönelik ve yatay ile $45^{\circ} \pm 5^{\circ}$ olacak şekilde yerleştirilmelidir.
- Deney standı bölgesi, deney esnasında kolektör üzerinde hiçbir gölge oluşturmayacak şekilde olmalıdır.
- Kolektör açıklığına paralel ve 100 mm yukarı mesafesinde ortalama çevre hızı 0-3,5 m/s olmalıdır.
- Kolektör girişindeki ısı transfer akışkanının sıcaklığı 0,1 K doğrulukta ölçülmeli, fakat sıcaklığın zaman ile değişmediğini kontrol etmek için sıcaklık sinyalinin $\pm 0,02$ K hassasiyetle ölçülmesi şeklinde daha iyi bir çözüm gereklidir. Sıcaklık ölçümü için sensör, kolektör girişinden 200 mm'den daha fazla mesafede

yerleştirilmemeli ve yalıtım, sensörün hem akış yönünde hem de akışın tersi yönünde kanal çevresine yapılmalıdır.

- Kolektör giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki fark $<0,05$ K belirsizlikle ölçülmelidir. Standart $0,02$ K belirsizlik yaklaşımı, modern uygun ve kalibre edilmiş sıcaklık dönüştürücü ile elde edilebilir, bundan dolayı 1 K veya 2 K'lık ısı transfer akışkan sıcaklık farklarının, uygun doğrulukla ölçülmesi mümkündür.
- Ortam veya çevre hava sıcaklıkları $0,5$ K hassasiyetle ölçülmelidir.
- Manometre veya diferansiyel basınç ölçüm cihazları ile belirlenen hava akışkanlı güneş kolektörü boyunca statik basınç kaybı ve kolektör akış yönündeki ve akışın tersi yönündeki statik basınç $\pm 2,5$ Pa hassasiyetle ölçülmelidir.
- Kolektör alanı (yutucu, brüt veya açıklık) $\%0,3$ hassasiyetle ölçülmelidir.
- Deney esnasında, kolektör açıklık düzlemi üzerindeki toplam güneş ışıınımı 700 W/m^2 'den büyük olmalıdır. Güneş ve gökyüzü küresel dalga boylu ışıınının ölçülmesi için, ISO 9060'da belirtilen 1. sınıf piranometre kullanılmalıdır. Piranometre sensörleri, kolektör düzlemiyle aynı olacak şekilde ± 1 toleransla monte edilmeli ve deney süresi boyunca piranometre kolektör üzerinde gölge yapmamalıdır.
- Akışkan debisi aralığı üretici firma tarafından belirtilmediği sürece, akışkan debisi aralığı $20\text{--}120 \text{ kg/hm}^2$ yutucu alan ($0,0055\text{--}0,033 \text{ kg/sm}^2$ yutucu alan) arasında olmalıdır. Akışkan debisi deney esnasında $\pm\%2$ aralığında tutulmalıdır.
- Kolektör, açık gökyüzü şartlarında etkinlik karakteristiğini belirlemek için en az üç akışkan giriş çalışma sıcaklık aralığında denenmelidir. Isı transfer akışkanı olarak hava kullanılıyorsa, kapalı çevrim test esnasında $0\text{--}60$ °C, açık çevrim test esnasında $-20\text{--}+40$ °C aralığında olmalıdır.

Kolektöre giren akışkanın sıcaklığı ile çevre sıcaklığı arasındaki farkın küçük olduğu değerlerde, kolektör üzerine gelen güneş ışıını küçük değerlerde olsa bile kolektör verimi yüksek olacaktır. Çalışma akışkanının giriş sıcaklığı çevre sıcaklığından küçük ise, ışıını olmadığı saatlerde dahi çevre ortamdan kolektöre ısı geçişinden dolayı akışkan sıcaklığı artacaktır.

Şekil 6.1’de ASHRAE 93-77 standardına göre hava akışkanlı güneş kolektörlerinin verimlilik deneylerinde kullanılan test düzeneği gösterilmektedir.



Şekil 6.1. Isı transfer akışkanı olarak hava kullanıldığında bir güneş kolektörü için test düzeneği (ASHRAE Standard 93-77)

Kararlı hal koşulları altında, kolektör testlerinde ölçüm esnasında ölçülen parametrelerin müsaade edilen sapma aralığı Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Bir ölçüm esnasında ölçülen parametrelerin müsaade edilen sapma aralığı (ASHRAE Standard 93-77)

Parametre	Ortalama değerden müsaade edilen sapma
Deney (Toplam) güneş ışınlımı (W/m^2)	± 50
Çevre ortam hava sıcaklığı (K)	± 1
Akışkan debisi (kg/s)	$\pm \%2$
Kolektör girişindeki akışkan sıcaklığı (K)	$\pm 0,1$

6.3. Güneş Kolektörlerinin Isıl Verimlerinin Değerlendirilmesi

Kolektör verimi; başlıca kolektöre giren ve çıkan akışkan sıcaklıklarına, kolektör üzerine gelen güneş ışınlımı şiddetine, çevre ortam sıcaklığı ve rüzgâr hızı gibi parametrelere bağlı olarak gün içinde değişiklik gösterdiklerinden dolayı kolektör verimleri ‘*kolektör verim eğrisi*’ ile akışkan giriş, çıkış ve ortalama sıcaklık değerlerinin fonksiyonu olarak grafiksel biçimde gösterilmelidir.

Kararlı hal koşulları altında çalışan bir güneş kolektörünün anlık enerji verimi, kolektörden alınan yararlı ısınn kolektör tarafından alınan güneş enerjisine oranı olarak tanımlanır.

Kolektörden alınan yararlı ısı akışkan giriş sıcaklığına göre aşağıdaki bağıntıdan hesaplanmaktadır.

$$Q_u = A_{col} F_R (S - U_L (T_{fi} - T_a)) \quad (6.1)$$

Isı transfer akışkanının giriş sıcaklığının kullanılması durumunda kolektör birinci yasa verim ifadesi aşağıdaki eşitlikle tanımlanır.

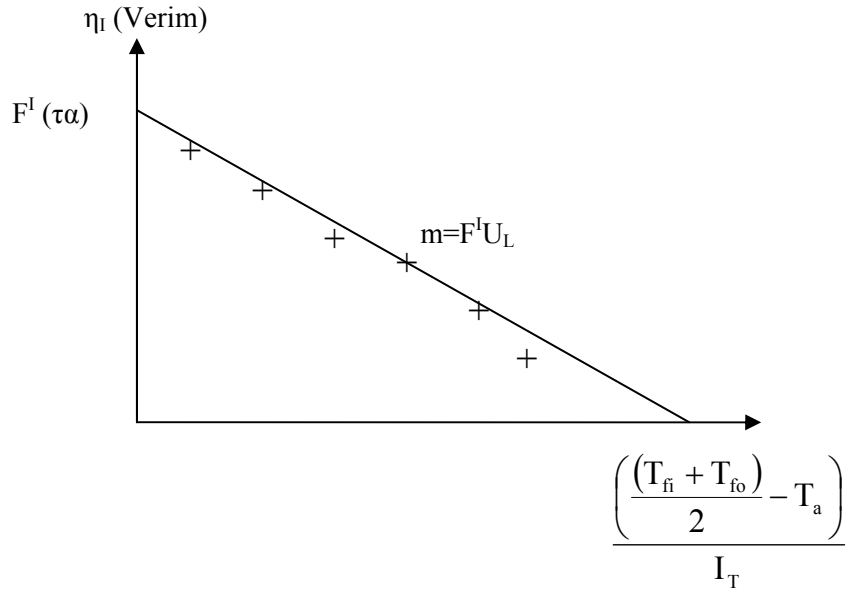
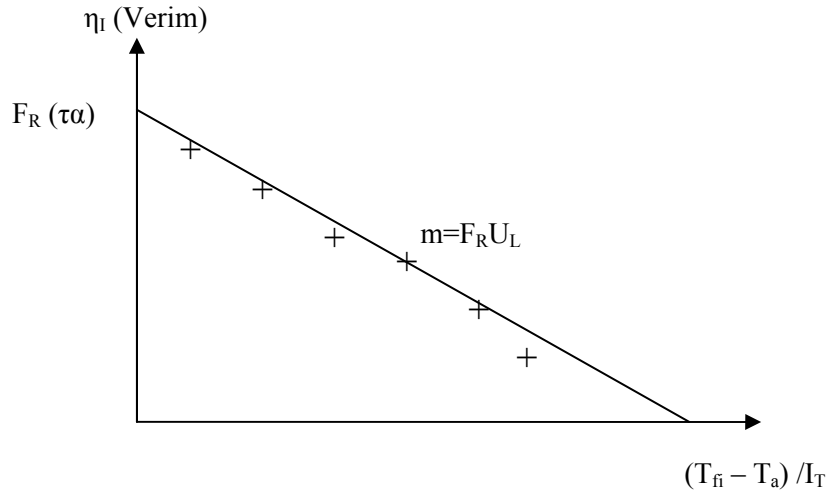
$$\eta_I = \frac{Q_u}{A_{col} I} = \frac{A_{col} F_R (S - U_L (T_{fi} - T_a))}{A_{col} I} \quad (6.2)$$

$$\eta_I = F_R (\tau \alpha) - F_R U_L \frac{(T_{fi} - T_a)}{I} \quad (6.3)$$

Isı transfer akışkanının ortalama sıcaklığının kullanılması durumunda kolektör birinci yasa verim ifadesi denklem 6.4 ile tanımlanır.

$$\eta_I = F^I (\tau \alpha) - F^I U_L \left(\frac{T_{fm} - T_a}{I} \right) \quad (6.4)$$

Şekil 6.2’de güneş kolektörünün çalışma sıcaklığına bağlı olarak birinci yasa veriminin doğrusal değerlendirilmesi gösterilmektedir.



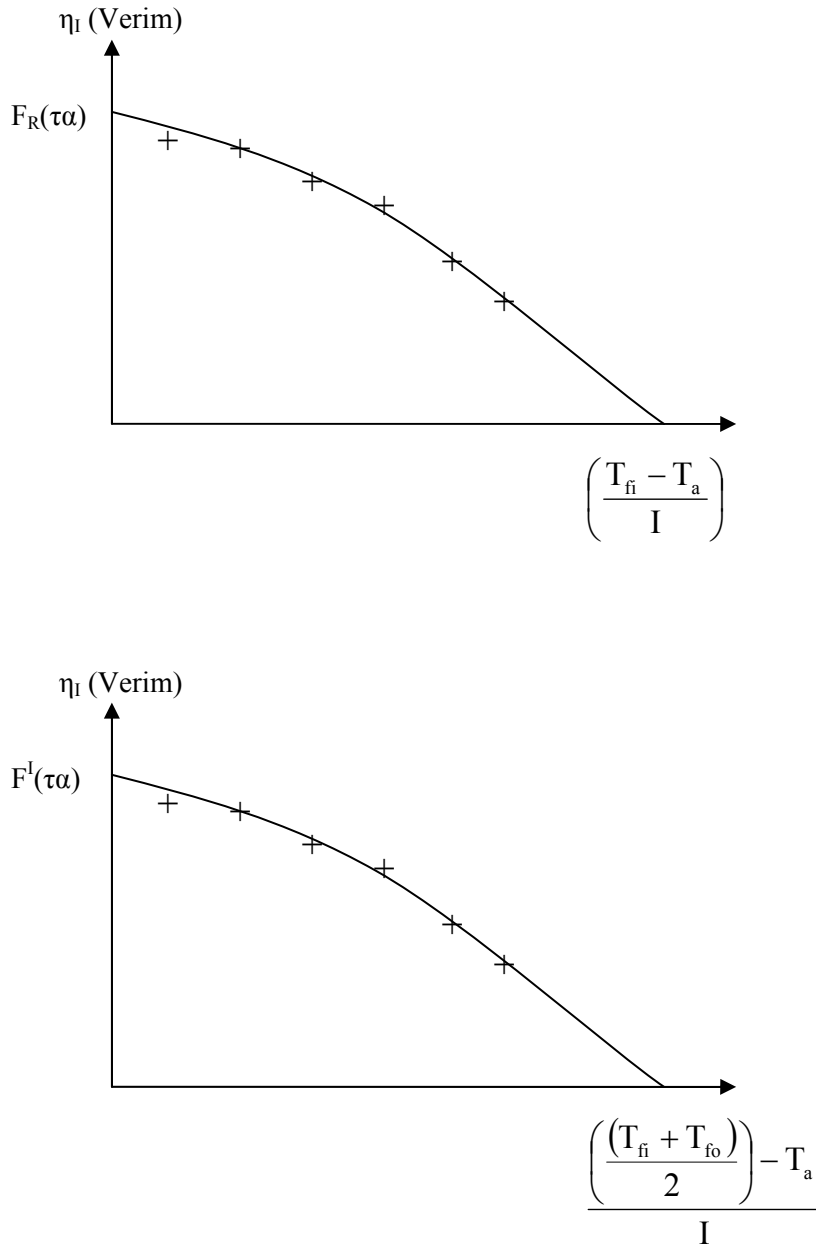
Şekil 6.2. Kolektörlerin doğrusal birinci yasa verimleri

Doğrusal yaklaşım kullanılarak toplayıcı ısı verim eğrilerinin oluşturulmasında toplam ısı kayıp katsayısının sabit olduğu kabul edilmektedir. Yutucu yüzey, çevre ve gökyüzü sıcaklıkları ile rüzgâr hızı, toplayıcı eğimi ve yutucu yüzeyin özelliklerine bağlı olarak ısı kayıp katsayısı da değişim göstermektedir. Bu değişim dikkate alınarak toplayıcı verim denklemleri akışkan giriş sıcaklığı ve ortalama akışkan sıcaklığı temel alınarak ikinci dereceden denklem ile ifade edilebilmektedir (Özbalta ve Güngör, 2003).

$$\eta_I = F_R (\tau\alpha) - \alpha_1 \left(\frac{T_{fi} - T_a}{I} \right) - \alpha_2 \left(\frac{(T_{fi} - T_a)}{I} \right)^2 \quad (6.5)$$

$$\eta_I = F^I (\tau\alpha) - \alpha_1 \frac{\left(\frac{T_{fi} + T_{fo}}{2} - T_a \right)}{I} - \alpha_2 I_T \left(\frac{\left(\frac{T_{fi} + T_{fo}}{2} - T_a \right)}{I} \right)^2 \quad (6.6)$$

Burada α_1 birinci dereceden ısı kayıp katsayısı, α_2 ikinci dereceden ısı kayıp katsayısıdır. Isıl verimin ikinci dereceden denklemle ifade edilebilmesi için α_2 değeri negatif olmamalıdır. Ayrıca ışıınım değeri minimum 800 W/m^2 olmalıdır. Yeni yaklaşım ile halen kullanılmakta olan değerlendirme yöntemi karşılaştırılırsa, özellikle denge sıcaklığı ile optik verimlilik değerlerinin doğrusallaştırılmış ısı verim eğrisinden elde edilebilecek sonuçlara göre farklı olabilmektedir. Şekil 6.3’de güneş kolektörünün çalışma sıcaklığına bağlı olarak birinci yasa veriminin ikinci dereceden değerlendirilmesi gösterilmektedir.



Şekil 6.3. Kolektörlerin ikinci dereceden birinci yasa verimleri

7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Hava akışkanlı güneş kolektörlerinin en önemli kısmı yutucu yüzeydir. Bu çalışmada, üç tip hava akışkanlı güneş kolektörü tasarlanmış ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Birinci tip güneş kolektörü; güneş ışıını geçirgenliği kısmen daha yüksek bir temperli cam örtü, seçici yutucu levha üzerinden ve altından hava akışının olduğu çift hava kanallı, 1200x2000x3 mm yutucu levha boyutlarına sahip düzlemsel güneş kolektörüdür. İkinci tip, düşük demir oksitli bir cam örtü, yutucu yüzeyi siyah mat kolektör boyası ile boyanmış kıvrımlı galvaniz oluk levha üzerinden ve altından hava akışının olduğu çift hava kanallı, 1000x2000x3 mm yutucu levha boyutlarına sahip düzlemsel güneş kolektörüdür. Üçüncü tip kolektör, düşük demir oksitli bir cam örtü, yutucu yüzeyi siyah mat kolektör boyası ile boyanmış düzlemsel levha üzerinden hava akışının olduğu tek hava kanallı, 1000x2000x3 mm yutucu levha boyutlarına sahip konvansiyonel düzlemsel güneş kolektörüdür.

Deneyler Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde Haziran-Eylül dönemlerinde yapılmıştır. Deney yerinin enlemi 38,467 N'dir ve kolektörün eğim açısı 40° ve güney yönüne bakmaktadır. Kurulan deney düzeneğinde, her bir kolektör için 0,025 kg/sm², 0,033 kg/sm², 0,04 kg/sm², 0,048 kg/sm² ve 0,055 kg/sm² kütleli debilerinde kolektör verim testleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında çalışma akışkanının kanal içindeki, cam örtü üzerindeki ve yutucu levha üzerindeki sıcaklık dağılımları, dış ortam sıcaklığı, kolektör düzlemine gelen ışıının şiddeti, rüzgâr hızı ve ölçüm alınan zaman aralıkları kaydedilmiştir.

Çalışma kapsamında öncelikle literatürden alınan Nusselt sayısı bağıntıları kullanılarak sonlu farklar metodu ile kolektör boyunca hesaplanan cam örtü, yutucu levha, hava sıcaklıkları ve verimlilik değerleri deneylerden elde edilen sıcaklık ve verimlilik değerleri ile kıyaslanmıştır. Daha sonra, deneysel verilere bağlı olarak Nusselt sayısı bağıntıları oluşturulmuştur. Bu bağıntılar kullanılarak verimlilik değerleri hesaplanmıştır. Sonuç olarak, literatürden alınan bağıntılar ile oluşturulan model, tez kapsamında oluşturulan model ve deney sonuçları karşılaştırılmıştır.

7.1. Ölçüm Cihazları ve Özellikleri

Deneylerde kolektör çalışma parametresini geniş bir aralıkta incelemek amacıyla hava, kolektöre girmeden önce 750 W gücündeki elektrikli rezistans ile ön ısıtma yapılmıştır. Hava giriş debisi ve sıcaklığını kontrol etmek amacıyla Şekil 7.1’de görüldüğü gibi bir kontrol paneli yapılmıştır.



Şekil 7.1. Hava debisi ve sıcaklık kontrol paneli

7.1.1 Sıcaklık ölçümü

Deneylerde hava kalındaki, yutucu levha ve cam örtü üzerindeki sıcaklıklar j tipi ısıl çiftler yardımıyla ölçülmüştür. Ölçülen sıcaklık değerleri bir veri toplama cihazına aktarılmıştır (Şekil 7.2). Dış ortam sıcaklığı ve rüzgâr hızı mini pervane anemometre ile ölçülmüştür (Şekil 7.3).

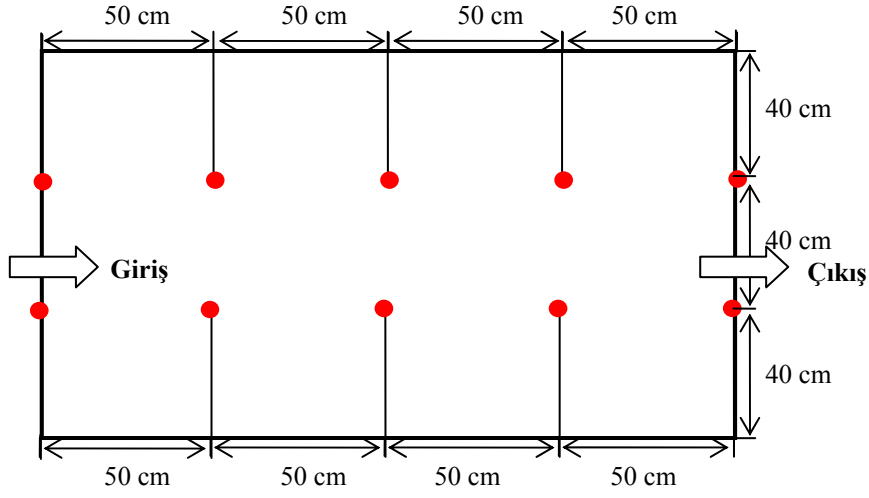


Şekil 7.2. Kanaldaki hava, yutucu levha ve cam örtü üzerindeki sıcaklıkların ölçümünde kullanılan j tipi ısıl çift ve veri toplama cihazı

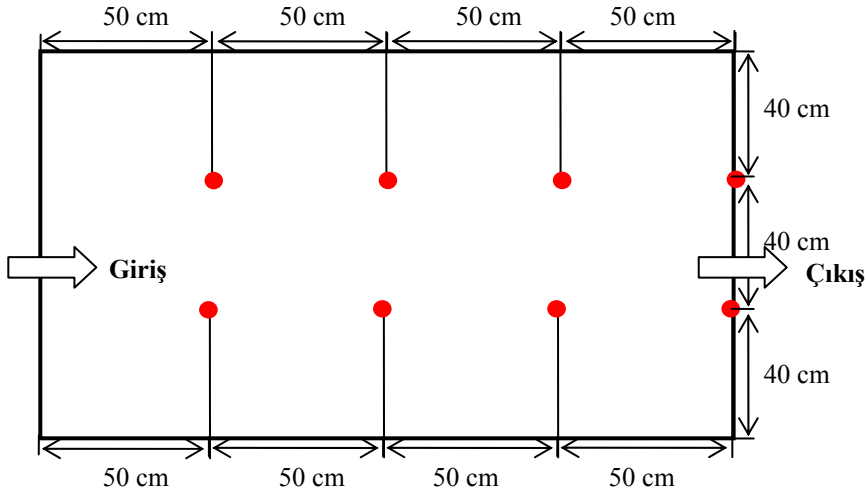


Şekil 7.3. Dış ortam sıcaklığı ve rüzgâr hızı ölçümünde kullanılan mini pervane anemometre

Seçici ve siyaha boyanmış kıvrımlı galvaniz oluk yutucu levhaya sahip çift hava kanallı güneş kolektörlerinin deneylerinde kolektör girişinde ve kolektör girişinden 0,5 m mesafe aralıklarla alt ve üst kanaldaki hava sıcaklıkları ile kolektör girişinden 0,5 m'den başlamak üzere yutucu levha üzerindeki sıcaklıklar ölçülmüştür. Düzlemsel tek hava kanallı kolektör için kolektör girişinde ve kolektör girişinden 0,5 m mesafe aralıklarla hava sıcaklığı ile kolektör girişinden 0,5 m'den başlamak üzere yutucu levha ve cam örtü üzerindeki sıcaklıklar ölçülmüştür. Şekil 7.4 ve Şekil 7.5'de görüldüğü gibi paralel bir şekilde ölçülmüş ve ölçülen sıcaklıkların ortalama değerleri alınmıştır.



Şekil 7.4. Üst ve alt hava kanalı içindeki ölçüm sensörlerinin yerleşim şeması



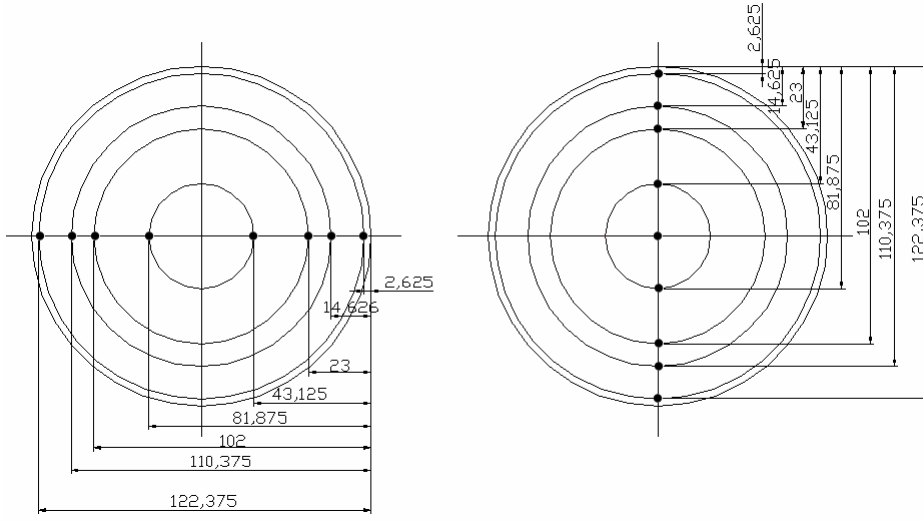
Şekil 7.5. Yutucu levha ve cam örtü üzerindeki ölçüm sensörlerinin yerleşim şeması

7.1.2 Hava debisi ve basınç düşümü ölçümü

Çalışma akışkanı olarak havanın kullanıldığı sistemlerde debinin doğru ölçülmesi çok önemlidir. Hava debisi, havanın tam türbülansa geçmesini sağlamak amacıyla fandan 1,5 m ileride hot wire anemometre ile ölçülmüştür (Şekil 7.6). Debi ölçümlerinde, Şekil 7.7’de gösterildiği gibi Ower and Pankhurst tarafından önerilen 16 noktada hız ölçümü yapılmış ve ortalama değeri alınmıştır (Burgess vd., 2004).



Şekil 7.6. Kolektöre giren hava debisini belirlemek için hız ölçümü yapılan bölge



Şekil 7.7. Hava debisi ölçüm noktaları

Deneylerde 350 ve 500 m³/h debi sağlayan 2 adet fan kullanılmıştır (Şekil 7.8).



Şekil 7.8. Deneylerde kullanılan 350 m³/h debili fan

Deneylerde kolektördeki basınç düşümü Testo 350 M/XL çok fonksiyonlu veri toplama cihazı ile ölçülmüştür (Şekil 7.9).



Şekil 7.9. Hava hızını ve basınç düşümünü ölçmek için kullanılan hot wire anemometre, basınç ölçüm boruları ve veri toplama cihazı

7.1.3 Güneş ışımasını ölçümü

Deneylerde Kipp&Zonen marka CM 11 piranometre kolektör eğimi ile aynı olacak şekilde monte edilmiştir. Piranometreden alınan değerler çok fonksiyonlu bir multimetreye aktarılmıştır. Piranometre ve multimetre Şekil 7.10’da gösterilmiştir.

Bu çalışma kapsamında, deneylerde kullanılan cihazlar ve teknik özellikleri Çizelge 7.1’de özetlenmiştir.



Şekil 7.10. Deneylerde ışıınımı ölçmek için kullanılan piranometre ve dijital multimetre

Çizelge 7.1. Deneylerde kullanılan ölçüm cihazları ve teknik özellikleri

Cihaz Adı	Teknik Özellikleri
Ek ısıtıcı	Elektrikli rezistans ısıtıcı 750 W ısıtma gücündedir.
J tipi thermocouple	-55...+150 °C ($\pm 0,1$ °C) aralığında sıcaklık ölçümü yapabilmektedir.
Veri kaydedici	25 kanallı, 24 Bit ADCs dijital sayısal dönüştürücüdür.
Mini pervane anemometre	0...12 m/s ($\pm \%2+0,2$ m/s) 0...6 m/s ($\pm 0,32$ m/s) aralığında hava hızı ve 0...+80 °C ($\pm 0,8$ °C) aralığında sıcaklık ölçümü yapabilmektedir.
Hot wire anemometre	0...+10 m/s ($\pm 0,03$ m/s) aralığında hava hızı ve -20...+70 °C ($\pm 0,5$ °C) aralığında sıcaklık ölçümü yapabilmektedir.
Çok fonksiyonlu veri kaydedici	Cihaz -20000...+20000 Pa ($\pm 0,15$ Pa) aralığında fark basıncı ölçebilmektedir.
Piranometre	305-2800 nm spektral aralığında 0-1400 W/m ² ışıınım ölçümü yapabilmektedir. $5,1 \times 10^{-6}$ V/Wm ⁻² ($\pm \%0,51$)
Dijital multimetre	40 fonksiyonlu, mV değerini $\pm 0,01$ hassasiyetle ölçebilmektedir.

7.2. Belirsizlik Analizi

Bütün ölçüm aletleri ve ölçümler belirli özelliklere sahiptir. Bu genel özellikleri anlamak doğru ölçüm yapabilmenin ilk adımını oluşturmaktadır. Hatalar ve belirsizlikler hem ölçüm aletinin hem de yapılan ölçüm işleminin doğasında vardır. Uygun ölçüm aletiyle değer okumada kesin sonuçlar alabilmek doğru metotlara ve sağlam bir programa bağlıdır. Deneysel çalışmalardaki hata ve belirsizlikler, ölçüm aletinin seçiminden, özelliklerinden, kalibrasyonundan, çevre ve deney şartlarından ve okuma özelliklerinden kaynaklanmaktadır (Kavak Akpınar, 2005).

Standartlara uygun olarak kurulan bir deney düzeneğinde yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilerde, hata iki farklı şekilde ortaya çıkabilir. Bunlardan biri, deney setinin ve ölçü araçlarının yapısından kaynaklanan hatalar, diğeri ise, deneyi yapan kişiden kaynaklanan hatalardır. Kişiden kaynaklanan hataların, yetenekli bir deneycinin deneyleri yapması ile giderilmesi mümkündür. Fakat deney seti ve ölçüm araçlarından kaynaklanan hatalar, araç ve gereçlerin yapısından kaynaklandığı için giderilmesi ve belirlenmesi her zaman mümkün olmayabilir. Deneysel çalışma sonuçlarının belirsizliğini etkileyen hata tiplerini:

- Deneyde kullanılan araç ve gereçlerin imalatı sırasında yapılan hatalar
- Sebebi genellikle kesin olarak bilinmeyen, aynı büyüklüğün tekrar okunması sırasında ortaya çıkan sabit hatalar
- Deney araç ve gereçlerinde elektronik salınımlardan, sürtünme etkilerinden v.s. kaynaklanan rasgele hatalar

olmak üzere üç ana grupta toplamak mümkündür (Holman, 2001; Kavak Akpınar, 2005; Asan ve Namlı, 1997). Çoğu zaman sabit hatalar ile rastgele hataları birbirinden ayırt etmek zordur. Sabit hatalar, deney sırasında okunan her değer için aynıdır ve uygun bir kalibrasyon ve düzeltme ile ortadan kaldırılabilir.

Güneş kolektör testlerinde belirsizlik analizi yapmanın birkaç nedeni vardır. Birincisi; belirsizlik değerleri, test sonuçlarının doğruluğu ve geçerliliğini sağlayabilir. Bu nedenle, belirsizlik bir test ve onun doğruluğunun kalitesinin bir ölçüsüdür. İkincisi; laboratuvar karşılaştırmalarında, laboratuvarlar arasındaki test sonuçlarının saptaması veya farklı test metodları uygulandığında her bir laboratuvarda elde edilen test sonuçlarını karşılaştırmamızı sağlar. Üçüncü olarak; laboratuvarlar, ilgili standartlara göre (EN 450001 veya EN ISO 17025) akredite edilir (Müler-Schöll ve Frei, 2000).

Bir ölçümdeki hata genellikle ölçüm gerçek değeri ve ölçülen değer arasındaki farktır ve bu ifade belirsizlik olarak tanımlanır. Bir deneyin sonucu, aşağıdaki ifade ile tanımlanan ölçümler takımından hesaplama olarak kabul edilir.

$$R = (X_1, X_2, X_3, \dots, X_N)$$

burada, X_1, X_2, X_3 ölçülen değerlerdir.

Hesaplama sonucunda her bir ölçüm belirsizliğinin etkisi aşağıdaki eşitlikle tanımlanır.

$$W_{R X_i} = \frac{\partial R}{\partial X_i} \partial X_i \quad (7.1)$$

Farklı bağımsız değişkenlerin ölçülmesi esnasında ortaya çıkan belirsizlik aşağıdaki eşitlikten bulunabilir (Holman, 2001).

$$W_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial X_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial X_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial X_n} w_n \right)^2 \right]^{0,5} \quad (7.2)$$

burada R, “X₁, X₂, ..., X_n” bağımsız değişkenlerinin verilen bir fonksiyonudur. “w₁, w₂, ..., w_n” bağımsız değişkenlerin belirsizliğidir.

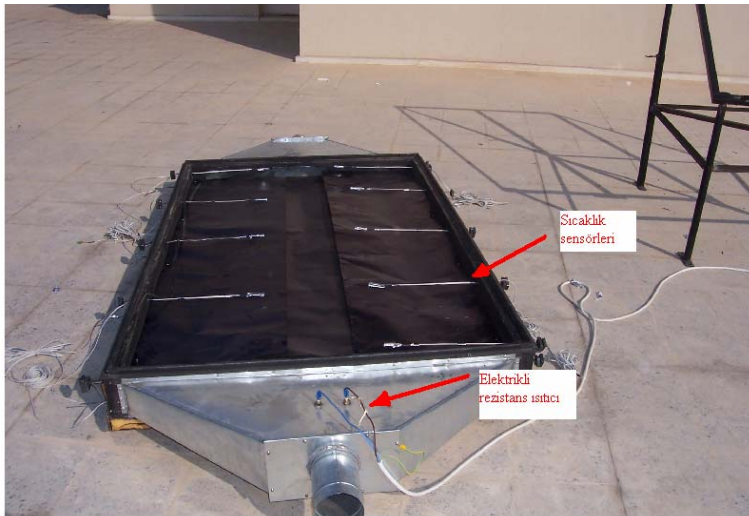
Bu çalışma kapsamında yapılan deneylerde kullanılan ölçüm cihazlarının hata miktarları Çizelge 7.2’de verilmiştir. Ölçüm cihazı hatalarının yapılan hesaplamalara etkisi her deney için deney sonuç tablolarında verilmiştir.

Çizelge 7.2. Belirsizlik analizi hesaplamalarında kullanılan ölçüm cihazlarının hata değerleri

Ölçüm	Ölçüm Cihazlarının Hata Değerleri
Akışkan, yutucu levha, cam örtü ve alt levha sıcaklık	-55...+150 °C (± 0,1 °C)
Rüzgâr hızı	0...6 m/s (± 0,32 m/s)
Dış sıcaklık	0...80 °C (± 0,8 °C)
Kolektöre giren hava hızı	0...+10 m/s (± 0,03 m/s)
Basınç farkı	-20000...+20000 Pa (± 0,15 Pa)
Işınım	Multimetrenin hata miktarıda dikkate alındığında (± 1,96 W/m ²)

7.3. Seçici Yüzey Yutucu Levhalı Kolektörün Deneysel ve Teorik Sonuçları

Bu çalışma kapsamında ilk olarak seçici yüzeye sahip çift hava kanallı güneş kolektörlerinin deneyleri yapılmıştır. Birinci grup deneylerde (Deney No:1, 3 ,5, 7, 9) havanın normal çevre şartlarında kolektöre girmesi sağlanmıştır. İkinci grup deneylerde (Deney No:2, 4, 6, 8, 10) ise hava kolektör girişinden önce elektrikli bir rezistans ile ön ısıtmaya tabi tutulmuştur. Deneyler esnasında alt kanal ve üst kanaldaki hava sıcaklıkları ve yutucu levha üzerindeki hava sıcaklıkları kolektör boyunca 0,5 m aralıklarla dakikada bir ölçülmüştür (Şekil 8.11 ve 8.12). Deneyler, $0,025 \text{ kg/sm}^2$, $0,033 \text{ kg/sm}^2$, $0,04 \text{ kg/sm}^2$, $0,048 \text{ kg/sm}^2$ ve $0,055 \text{ kg/sm}^2$ olmak üzere beş farklı debi için yapılmıştır.



Şekil 7.11. Seçici yüzeyli kolektörde sıcaklık sensörlerinin yerleşimi



Şekil 7.12. Seçici yüzeyli hava akışkanlı güneş kolektörü test düzeneği

Deneylerde kolektör boyunca alt, üst kanaldaki hava ve yutucu levha üzerindeki sıcaklıklar ölçülmüştür. Kolektör boyunca cam örtü, yutucu levha, alt levha, alt ve üst kanaldaki hava sıcaklıkları literatürde Nusselt sayısı için Sparrow vd. (1979) tarafından verilen denklem 5.78 kullanılarak sonlu farklar metodu ile 0,25 m aralıklarla sayısal olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, deney sonuçları ile karşılaştırılmış ve grafiksel olarak gösterilmiştir.

Model hesaplamalarında seçici yüzeyli hava akışkanlı güneş kolektörünün özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Çizelge 7.3’de seçici yüzeye sahip güneş kolektörünün teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 7.3. Seçici yüzeyli güneş kolektörünün teknik özellikleri

Güneş Kolektörü Bileşenleri	Özellikleri
Kasa	0,4 galvaniz sac veya alüminyum
İzolasyon	40 mm kalınlığında poliüretan $k=0,02$ W/mK
Yutucu levha	1200x2000x3 mm Seçici yüzey $\varepsilon_{ap}=0,07$, $\alpha_{ap}=0,96$
Cam örtü	Temperlenmiş 1200x2000x4 mm cam $\varepsilon_c=0,06$, $\alpha_c=0,02$, $\tau_c=0,92$
Cam fitili	Yekpare kauçuk (sızma önleyici)
Hava giriş kanalı	Alt ve üst kanal 1200x70 mm
Boyutlar	1300x2100x200 mm

Kolektör verim eğrileri akışkan giriş sıcaklığına ve ortalama akışkan sıcaklığına göre birinci ve ikinci derece denklemlerle ifade edilmiştir. Şekil 7.13-7.112’de kolektör boyunca literatürden alınan Nusselt sayısı kullanılarak çözümlenen teorik, deneysel sıcaklık dağılımları ve deneysel olarak elde edilen verim eğrileri grafiksel olarak verilmektedir.

7.3.1 Deney no:1 ve 2

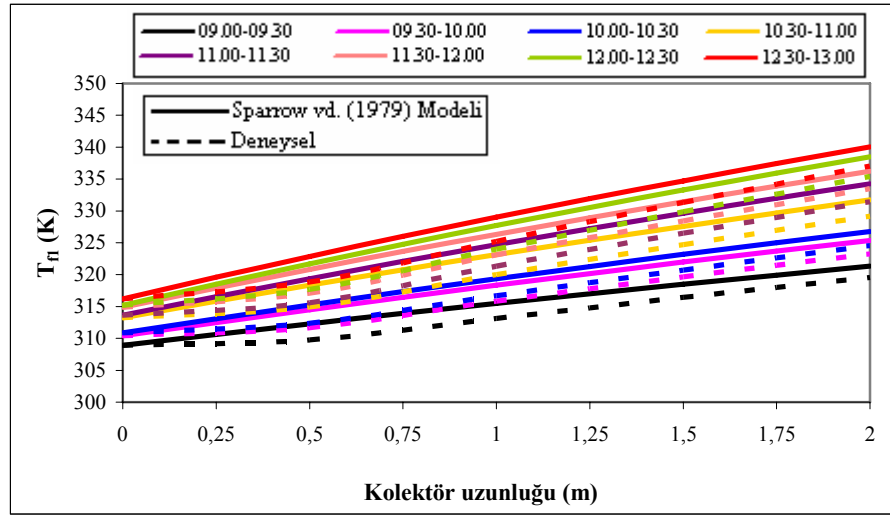
Bu deneylerde kolektörde dolaşan havanın kütleli debisinin $0,025 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda kolektör verim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney No:1'de havanın normal çevre şartlarında kolektöre girmesi sağlanmıştır. Kolektör çalışma parametresini geniş bir aralıkta incelemek amacıyla Deney No:2'de hava kolektöre girmeden önce ön ısıtmaya tabi tutulmuştur. Deneysel olarak ölçülen çevre sıcaklığı, kolektör düzlemine gelen güneş ışıını şiddeti ve giriş sıcaklıklarına göre deneysel ve literatürden alınan Nusselt sayısına bağlı teorik olarak bulunan izotermal ve nonizotermal enerji, ekserji verimleri ve hata değerleri Çizelge 7.4 ve Çizelge 7.5'de verilmiştir.

Literatürde düzlemsel kolektörler için Sparrow vd. (1979) tarafından verilen denklem 5.78 kullanılarak sonlu farklar metodu ile kolektör boyunca $0,25 \text{ m}$ aralıklarla hesaplanan üst ve alt kanaldaki hava, yutucu levha, cam örtü ve alt levha sıcaklıkları; $0,5 \text{ m}$ aralıklarla ölçülen üst, alt kanaldaki hava ve yutucu levha üzerindeki sıcaklık değerleri ile karşılaştırılmış ve Şekil 7.13-7.28'de verilmiştir.

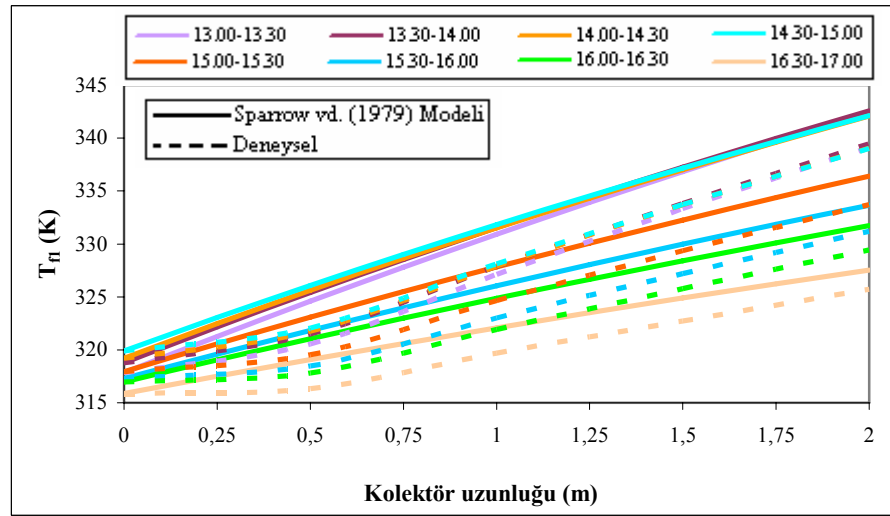
Kolektör verim eğrileri çalışma akışkanının giriş sıcaklığına veya ortalama akışkan sıcaklığına göre oluşturulmaktadır. Çalışma akışkanının kütleli debisinin $0,025 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda literatür modelinden ve deneysel olarak bulunan kolektör veriminin giriş sıcaklığına göre doğrusal ve ikinci derece değişimi sırasıyla Şekil 7.29 ve 7.30, çalışma akışkanının ortalama sıcaklığına göre doğrusal ve ikinci derece değişimi sırasıyla Şekil 7.31 ve 7.32'de gösterilmektedir. Doğrusal ve ikinci dereceden yaklaşımlar şekillerde verilmektedir.

Çizelge 7.4. Deney No:1 sonuçları

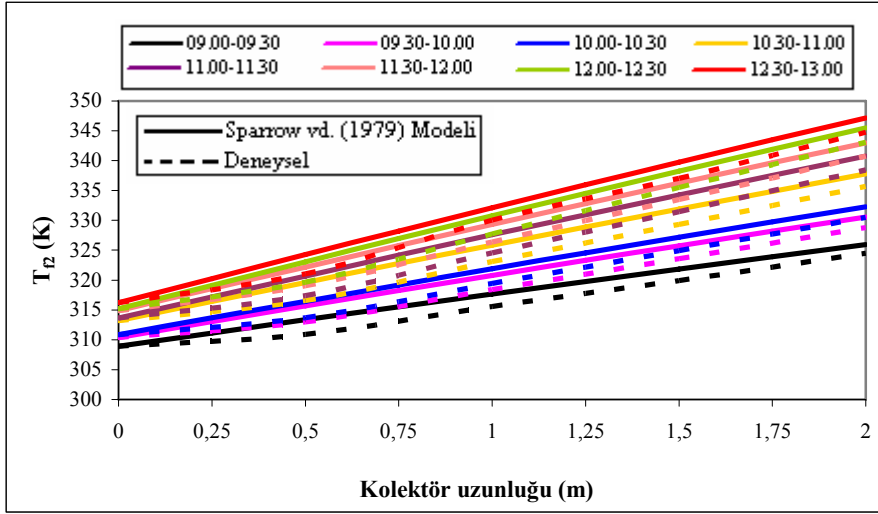
Tarih: 03.07.2008				Akışkan debisi: 0,025 kg/sm ²						
Kolektör Alanı:2,4 m ²				Üst örtü: Temperli cam						
Yutucu Yüzey: Seçici yüzey				Kolektör Eğimi: 40°						
Kolektör Tipi: Çift hava kanallı										
İzotermal model										
Zaman	T _a (K)	I (W/m ²)	V _w (m/s)	T _{fi} (K)	η _I Liter. Mod.	η _I Den.	Den. Hata ±	η _{II} Liter. Mod.	η _{II} Den.	Den. Hata ±
09.00 - 09.30	301,11	549,01	1,65	308,89	0,792	0,718	0,0018	0,0992	0,0733	0,0068
09.30 - 10.00	301,78	647,05	1,59	310,39	0,799	0,725	0,0021	0,1139	0,0877	0,0064
10.00 - 10.30	302,15	686,27	1,78	310,85	0,801	0,728	0,0021	0,1190	0,0936	0,0063
10.30 - 11.00	303,55	784,31	1,45	313,21	0,808	0,734	0,0024	0,1328	0,1071	0,0059
11.00 - 11.30	304,25	862,74	1,63	313,62	0,813	0,738	0,0025	0,1420	0,1153	0,0057
11.30 - 12.00	304,71	892,15	1,45	314,88	0,814	0,740	0,0026	0,1464	0,1200	0,0056
12.00 - 12.30	305,75	960,78	1,59	315,18	0,819	0,745	0,0027	0,1533	0,1267	0,0055
12.30 - 13.00	306,02	980,39	1,35	316,22	0,820	0,748	0,0027	0,1568	0,1301	0,0054
13.00 - 13.30	306,45	990,19	0,73	317,84	0,827	0,750	0,0028	0,1609	0,1336	0,0054
13.30 - 14.00	307,15	990,19	1,26	318,79	0,816	0,744	0,0027	0,1584	0,132	0,0053
14.00 - 14.30	308,45	960,78	1,62	319,22	0,813	0,741	0,0026	0,1525	0,1265	0,0054
14.30 - 15.00	308,95	931,37	1,44	319,89	0,813	0,737	0,0026	0,1494	0,1228	0,0054
15.00 - 15.30	308,55	784,31	1,7	317,95	0,807	0,732	0,0023	0,1296	0,104	0,0059
15.30 - 16.00	308,63	696,07	1,54	317,29	0,806	0,729	0,0021	0,1179	0,0923	0,0062
16.00 - 16.30	308,81	627,45	1,35	316,98	0,806	0,727	0,002	0,1087	0,0831	0,0064
16.30 - 17.00	308,41	509,8	1,41	315,89	0,794	0,721	0,0017	0,0912	0,0663	0,0068
Nonizotermal model										
Zaman	η _I Liter. Mod.	η _I Den.	Den. Hata ±	η _{II} Liter. Mod.	η _{II} Den.	Den. Hata ±	η _{II} Liter. Mod.	η _{II} Den.	Den. Hata ±	
				Metot I			Metot II			
09.00 - 09.30	0,675	0,602	0,00471232	0,033	0,0287	0,004987	0,034	0,0292	0,004691	
09.30 - 10.00	0,683	0,608	0,00457225	0,039	0,0329	0,00484	0,039	0,0335	0,004533	
10.00 - 10.30	0,684	0,611	0,00454152	0,040	0,0342	0,004809	0,041	0,0348	0,004498	
10.30 - 11.00	0,691	0,617	0,00445191	0,045	0,0386	0,004705	0,046	0,0393	0,004387	
11.00 - 11.30	0,697	0,621	0,00441089	0,047	0,0402	0,004664	0,048	0,0409	0,004342	
11.30 - 12.00	0,697	0,623	0,00438748	0,050	0,0429	0,004628	0,051	0,0437	0,004305	
12.00 - 12.30	0,702	0,628	0,00437206	0,051	0,0433	0,004618	0,051	0,0440	0,004291	
12.30 - 13.00	0,703	0,631	0,00436872	0,053	0,0455	0,004604	0,054	0,0463	0,004275	
13.00 - 13.30	0,71	0,634	0,00435541	0,056	0,0479	0,004575	0,057	0,0488	0,004246	
13.30 - 14.00	0,699	0,627	0,00430304	0,055	0,0476	0,00452	0,056	0,0485	0,004194	
14.00 - 14.30	0,696	0,624	0,00429327	0,052	0,0448	0,004524	0,053	0,0456	0,004202	
14.30 - 15.00	0,696	0,621	0,00427829	0,052	0,0440	0,004509	0,053	0,0448	0,00419	
15.00 - 15.30	0,69	0,615	0,00437674	0,044	0,0374	0,004636	0,045	0,0381	0,004324	
15.30 - 16.00	0,689	0,613	0,00445902	0,040	0,0338	0,004731	0,041	0,0344	0,004425	
16.00 - 16.30	0,689	0,611	0,00454141	0,037	0,0312	0,004820	0,037	0,0317	0,00452	
16.30 - 17.00	0,678	0,604	0,00473867	0,031	0,0268	0,005018	0,032	0,0273	0,004732	



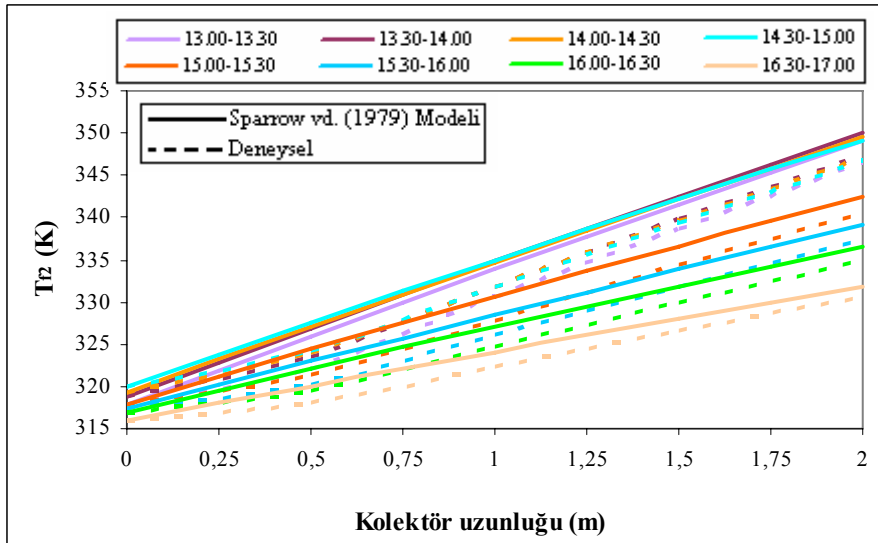
Şekil 7.13. Deney No:1 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)



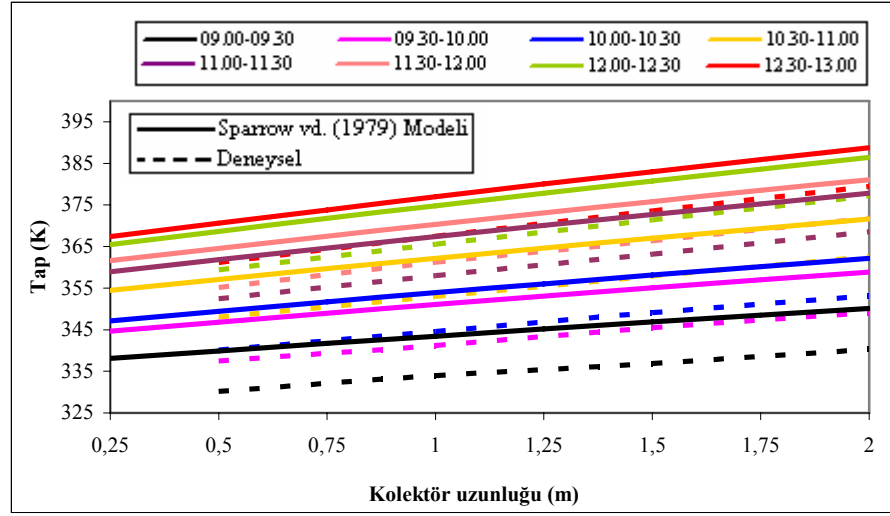
Şekil 7.14. Deney No: 1 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişim (Saat:13:00-17:00)



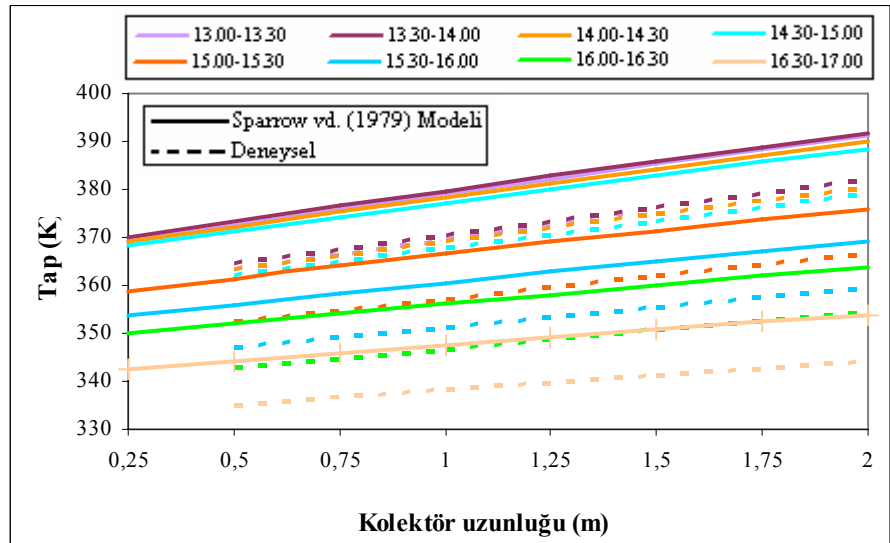
Şekil 7.15. Deney No:1 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)



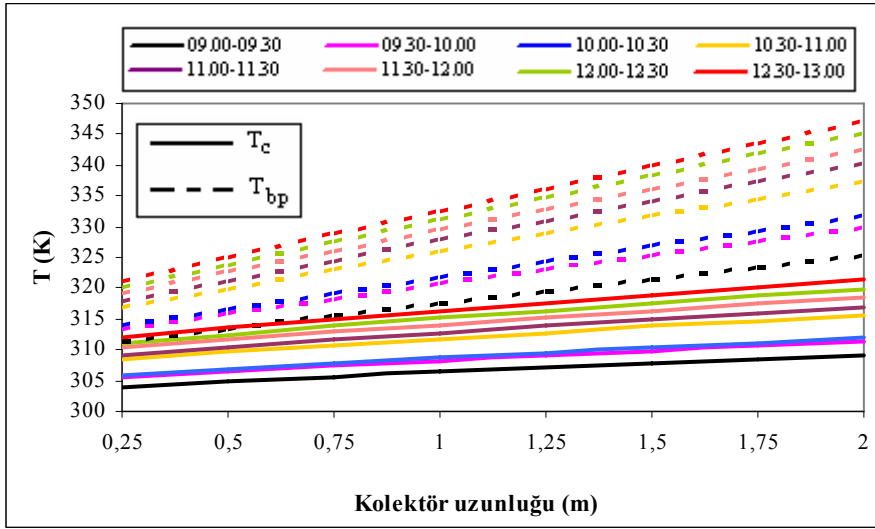
Şekil 7.16. Deney No:1 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



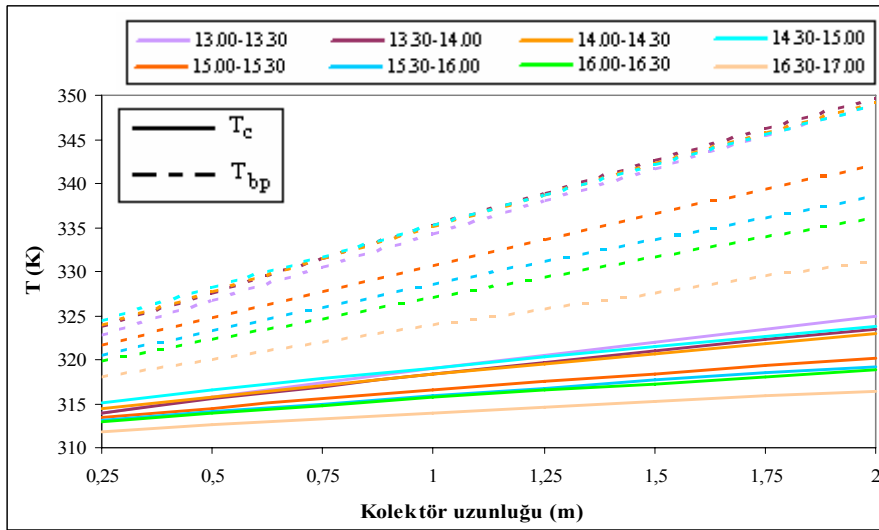
Şekil 7.17. Deney No:1 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)



Şekil 7.18. Deney No:1 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



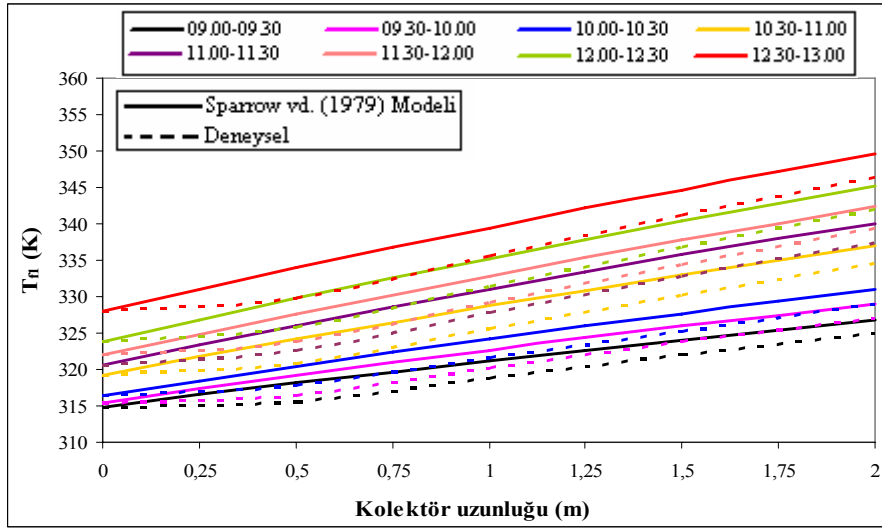
Şekil 7.19. Deney No:1 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)



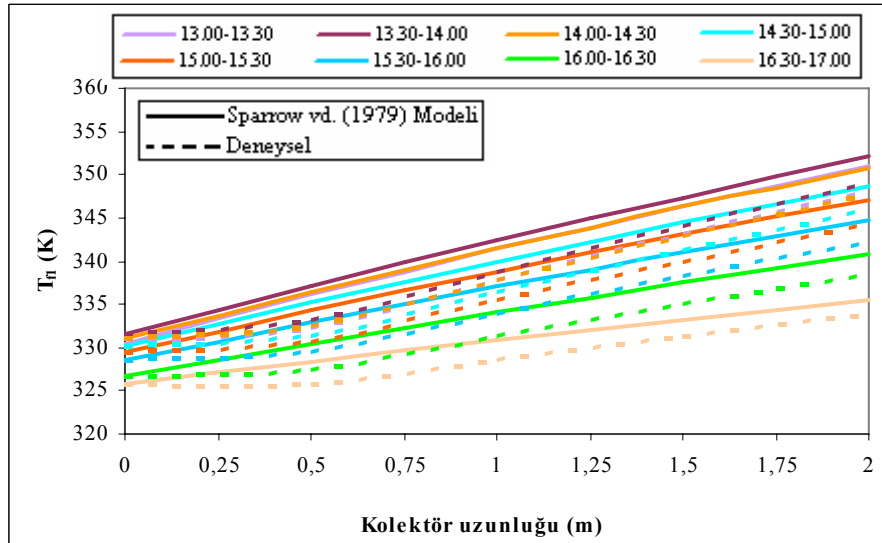
Şekil 7.20. Deney No:1 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)

Çizelge 7.5. Deney No:2 sonuçları

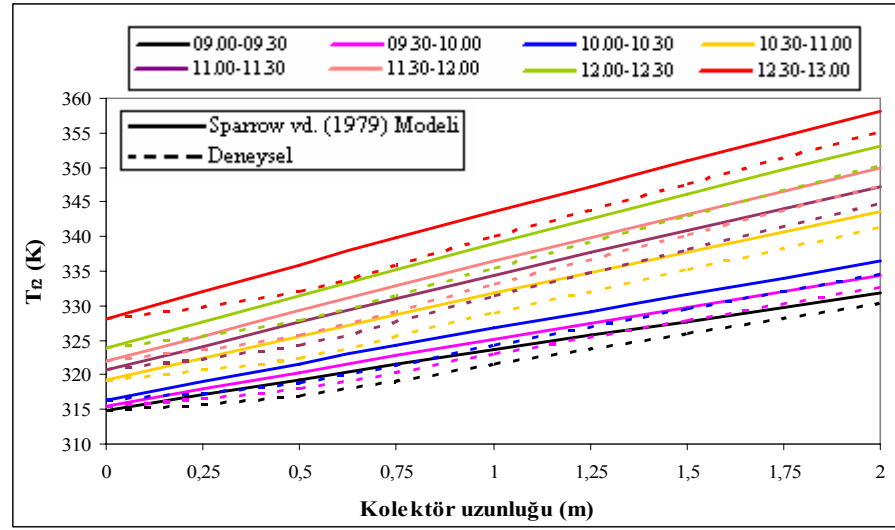
Tarih: 05.07.2008										
Kolektör Alanı:2,4 m ²				Akışkan debisi: 0,025 kg/sm ²						
Yutucu Yüzey: Seçici yüzey				Üst örtü: Temperli cam						
Kolektör Tipi: Çift hava kanallı				Kolektör Eğimi: 40°						
İzotermal model										
Zaman	T _a (K)	I (W/m ²)	V _w (m/s)	T _{fi} (K)	η _i Liter. Mod.	η _i Den.	Den. Hata ±	η _{ii} Liter. Mod.	η _{ii} Den.	Den. Hata ±
09.00 - 09.30	303,98	549,01	1,24	314,89	0,775	0,703	0,0018	0,1014	0,07677	0,0064
09.30 - 10.00	304,76	607,84	1,26	315,47	0,786	0,712	0,0019	0,1094	0,08451	0,0062
10.00 - 10.30	305,43	647,05	1,22	316,39	0,790	0,714	0,002	0,1149	0,08953	0,0061
10.30 - 11.00	306,02	784,31	1,18	319,24	0,793	0,717	0,0023	0,1346	0,10837	0,0056
11.00 - 11.30	306,54	852,94	1,23	320,69	0,794	0,72	0,0024	0,1435	0,11716	0,0054
11.30 - 12.00	307,09	901,96	1,34	321,94	0,792	0,716	0,0025	0,1490	0,12216	0,0052
12.00 - 12.30	307,51	941,17	1,17	323,88	0,791	0,713	0,0025	0,1549	0,12775	0,005
12.30 - 13.00	308,09	970,58	0,84	328,06	0,786	0,706	0,0026	0,1615	0,13362	0,0048
13.00 - 13.30	308,61	980,39	1,26	330,45	0,768	0,695	0,0025	0,1604	0,13411	0,0046
13.30 - 14.00	308,91	990,19	1,34	331,51	0,763	0,689	0,0025	0,1612	0,13456	0,0045
14.00 - 14.30	309,13	950,98	1,29	330,99	0,764	0,688	0,0024	0,1566	0,12959	0,0046
14.30 - 15.00	309,26	901,76	1,44	330,16	0,760	0,684	0,0023	0,1496	0,12297	0,0047
15.00 - 15.30	308,71	862,74	1,31	329,44	0,759	0,681	0,0022	0,1458	0,11894	0,0048
15.30 - 16.00	308,41	803,92	1,34	328,51	0,753	0,679	0,0021	0,1381	0,11236	0,005
16.00 - 16.30	308,15	705,88	1,24	326,64	0,749	0,676	0,002	0,1252	0,10006	0,0052
16.30 - 17.00	307,97	549,01	1,54	325,79	0,713	0,645	0,0015	0,1017	0,07851	0,0055
Nonizotermal model										
Zaman	η _i Liter. Mod.	η _i Den.	Den. Hata ±	η _{ii} Liter. Mod.	η _{ii} Den.	Den. Hata ±	η _{ii} Liter. Mod.	η _{ii} Den.	Den. Hata ±	
				Metot I			Metot II			
09.00 - 09.30	0,659	0,586	0,0045249	0,038	0,0331	0,0047488	0,039	0,0337	0,004463	
09.30 - 10.00	0,669	0,595	0,0044795	0,040	0,0347	0,0047143	0,041	0,0353	0,00442	
10.00 - 10.30	0,674	0,598	0,0044276	0,042	0,0361	0,0046614	0,043	0,0368	0,004363	
10.30 - 11.00	0,676	0,601	0,0042612	0,051	0,0433	0,0044654	0,052	0,0441	0,004159	
11.00 - 11.30	0,677	0,603	0,004206	0,054	0,0466	0,0043971	0,055	0,0475	0,004087	
11.30 - 12.00	0,676	0,599	0,0041266	0,057	0,0481	0,0043066	0,058	0,0490	0,003997	
12.00 - 12.30	0,675	0,597	0,0040644	0,060	0,0513	0,0042249	0,062	0,0522	0,003916	
12.30 - 13.00	0,669	0,589	0,0039472	0,067	0,0571	0,0040669	0,068	0,0581	0,003762	
13.00 - 13.30	0,651	0,578	0,0038405	0,068	0,0588	0,0039406	0,070	0,0599	0,003641	
13.30 - 14.00	0,647	0,573	0,0037899	0,069	0,0594	0,0038823	0,070	0,0605	0,003586	
14.00 - 14.30	0,647	0,571	0,0038087	0,067	0,0573	0,0039099	0,068	0,0584	0,003615	
14.30 - 15.00	0,643	0,567	0,0038185	0,064	0,0543	0,0039307	0,065	0,0554	0,00364	
15.00 - 15.30	0,642	0,565	0,0038383	0,062	0,0532	0,0039519	0,064	0,0542	0,003663	
15.30 - 16.00	0,637	0,563	0,0038793	0,059	0,0510	0,003999	0,060	0,0519	0,003713	
16.00 - 16.30	0,632	0,559	0,0039690	0,054	0,0463	0,0041033	0,055	0,0472	0,003824	
16.30 - 17.00	0,596	0,529	0,0039891	0,045	0,0396	0,0041071	0,046	0,0403	0,003854	



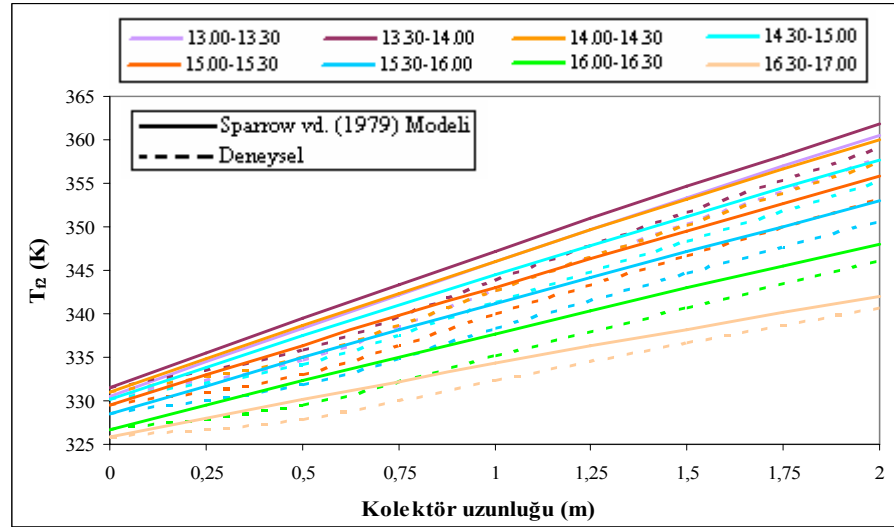
Şekil 7.21. Deney No:2 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)



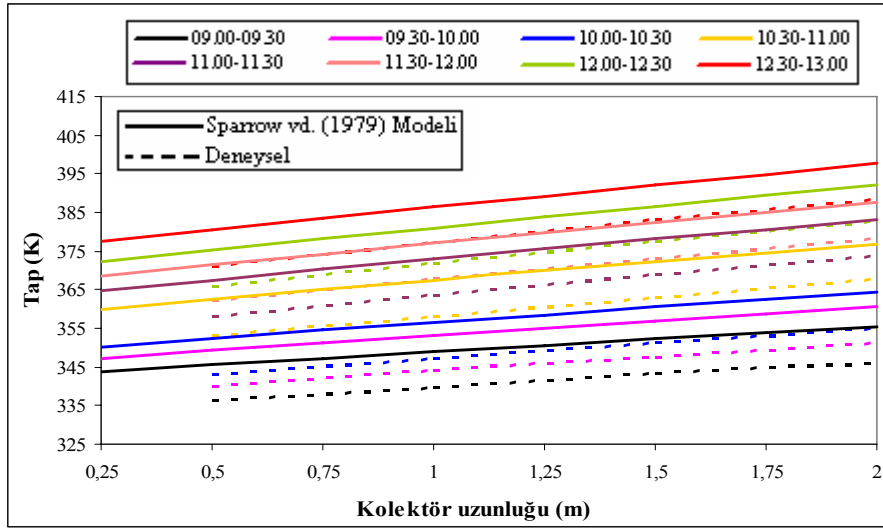
Şekil 7.22. Deney No:2 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



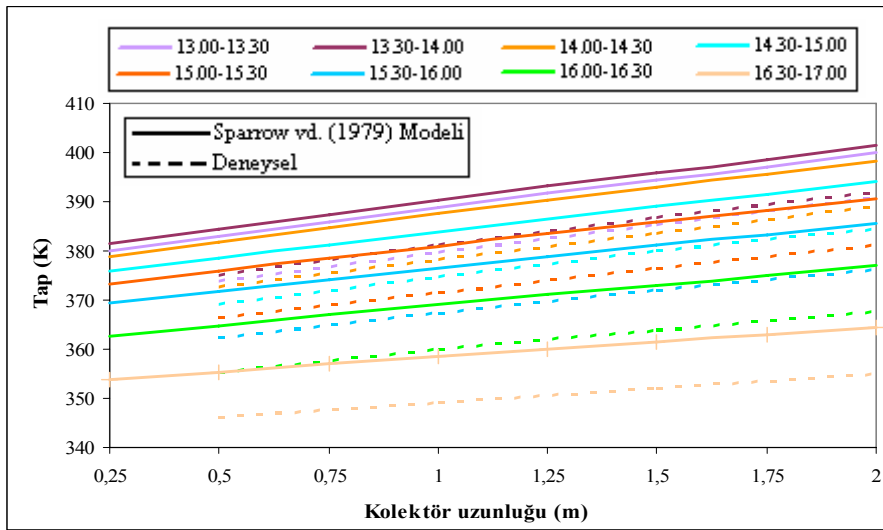
Şekil 7.23. Deney No:2 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)



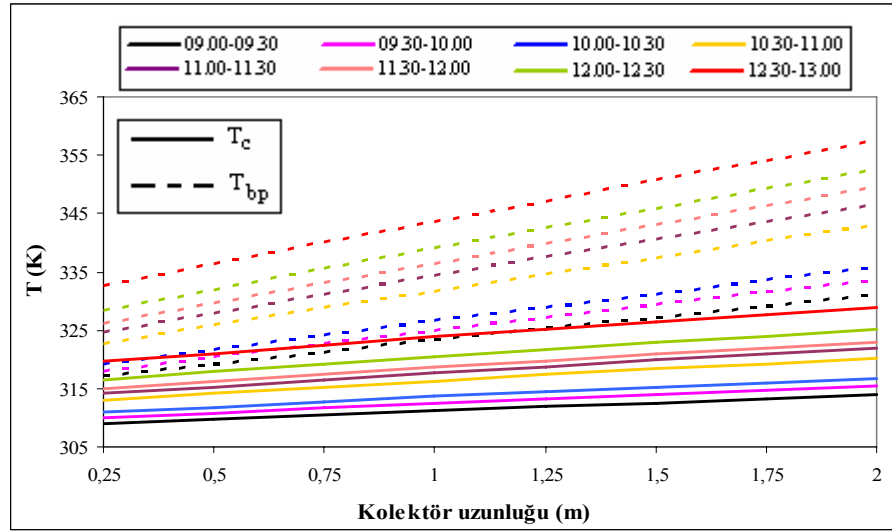
Şekil 7.24. Deney No:2 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



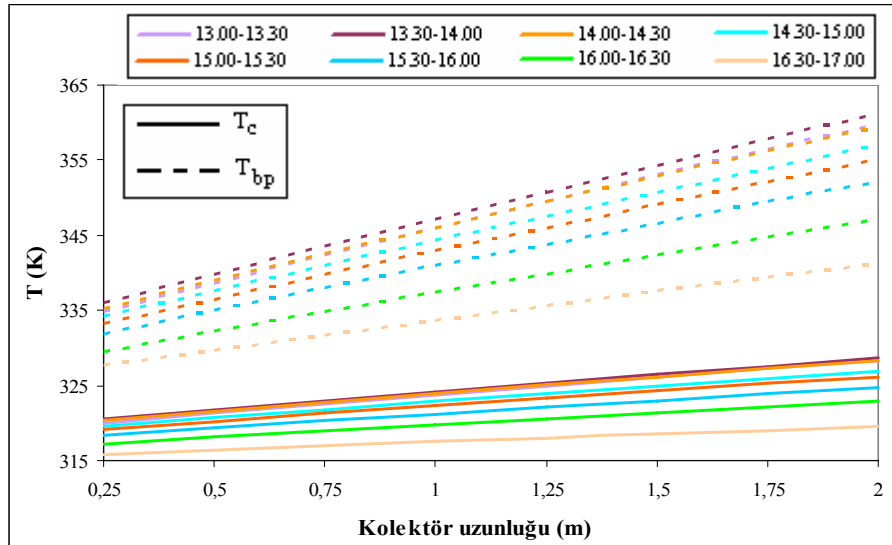
Şekil 7.25. Deney No:2 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)



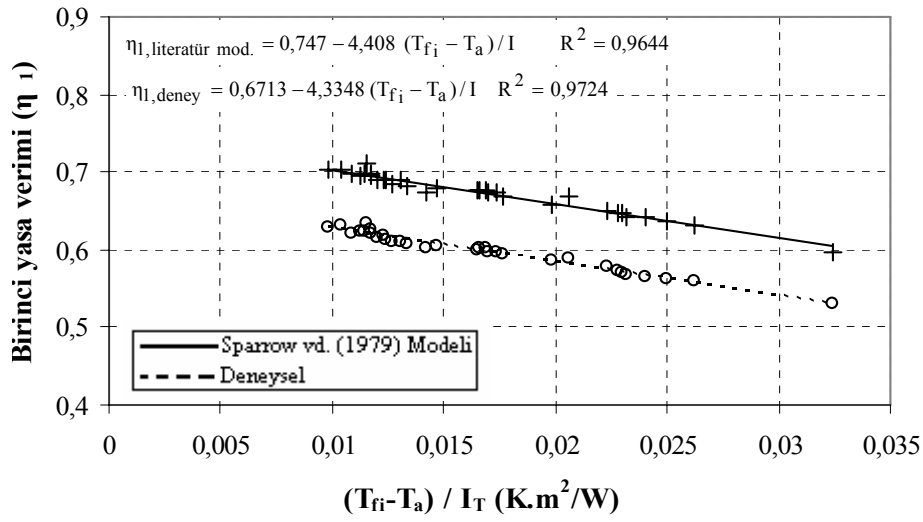
Şekil 7.26. Deney No:2 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:17:00)



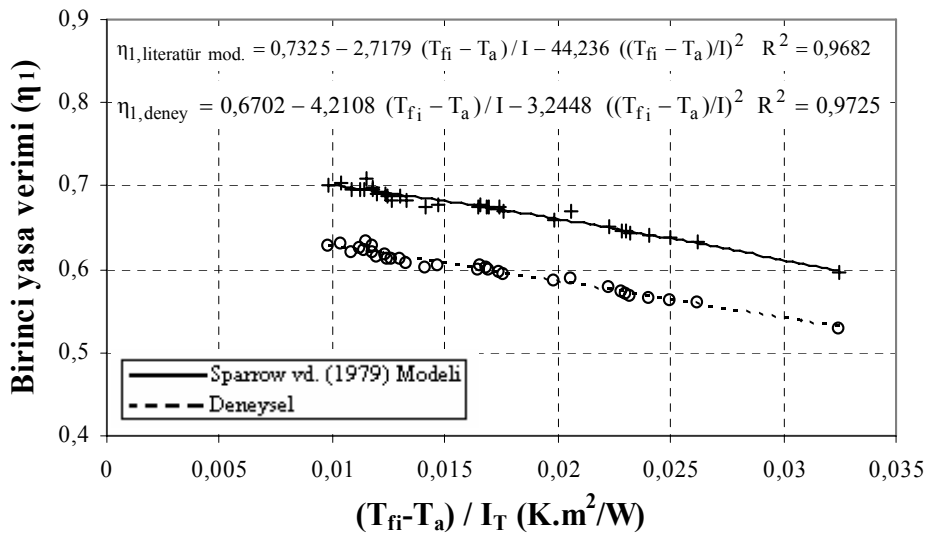
Şekil 7.27. Deney No: 2 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)



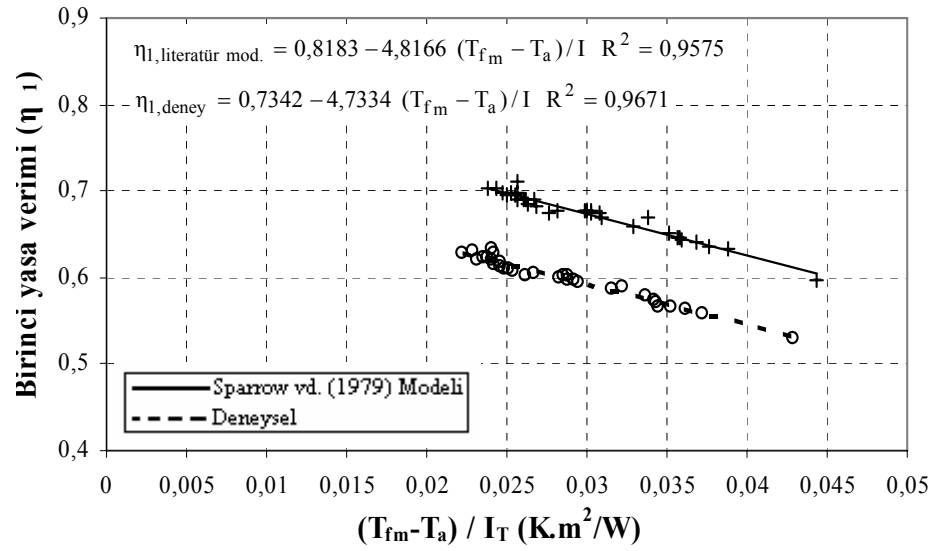
Şekil 7.28. Deney No:2 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



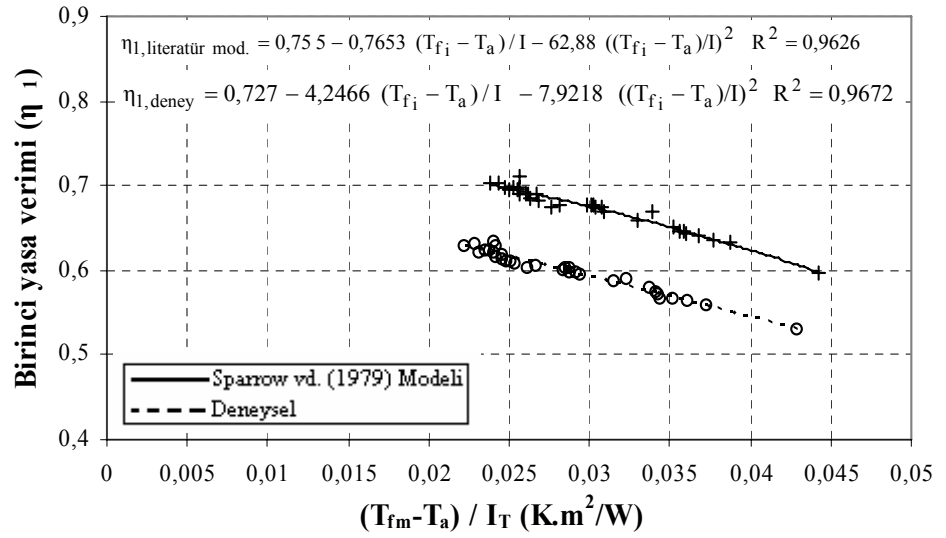
Şekil 7.29. Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:1 ve 2)



Şekil 7.30. Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:1 ve 2)



Şekil 7.31. Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:1 ve 2)



Şekil 7.32. Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör verim eğrileri ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:1 ve 2)

7.3.2 Deney No:3 ve 4

Bu deneylerde kolektörde dolaşan havanın kütleli debisinin $0,033 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda kolektör verim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney No:3'de havanın normal çevre şartlarında kolektöre girmesi sağlanmıştır. Kolektör çalışma parametresini geniş bir aralıkta incelemek amacıyla Deney No:4'de hava kolektöre girmeden önce ön ısıtmaya tabi tutulmuştur. Deneysel olarak ölçülen çevre sıcaklığı, kolektör düzlemine gelen güneş ışıması şiddeti ve giriş sıcaklıklarına göre deneysel ve literatürden alınan Nusselt sayısına bağlı teorik olarak bulunan izotermal ve nonizotermal enerji, ekserji verimleri ve hata değerleri Çizelge 7.6 ve Çizelge 7.7'de verilmiştir.

Literatürde düzlemsel kolektörler için Sparrow vd. (1979) tarafından verilen denklem 5.78 kullanılarak sonlu farklar metodu ile kolektör boyunca 0,25 m aralıklarla hesaplanan üst ve alt kanaldaki hava, yutucu levha, cam örtü ve alt levha sıcaklıkları; 0,5 m aralıklarla ölçülen üst, alt kanaldaki hava ve yutucu levha üzerindeki sıcaklık değerleri ile karşılaştırılmış ve Şekil 7.33-7.48'de verilmiştir.

Kolektör verim eğrileri çalışma akışkanının giriş sıcaklığına veya ortalama akışkan sıcaklığına göre oluşturulmaktadır. Çalışma akışkanının kütleli debisinin $0,033 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda literatür modelinden ve deneysel olarak bulunan kolektör veriminin giriş sıcaklığına göre doğrusal ve ikinci derece değişimi sırasıyla Şekil 7.49 ve 7.50, çalışma akışkanının ortalama sıcaklığına göre doğrusal ve ikinci derece değişimi sırasıyla Şekil 7.51 ve 7.52'de gösterilmektedir. Doğrusal ve ikinci dereceden yaklaşımlar şekillerde verilmektedir.

Çizelge 7.6. Deney No:3 sonuçları

Tarih: 07.07.2008

Kolektör Alanı:2,4 m²

Yutucu Yüzey: Seçici yüzey

Kolektör Tipi: Çift hava kanallı

Akışkan debisi: 0,033 kg/sm²

Üst örtü: Temperli cam

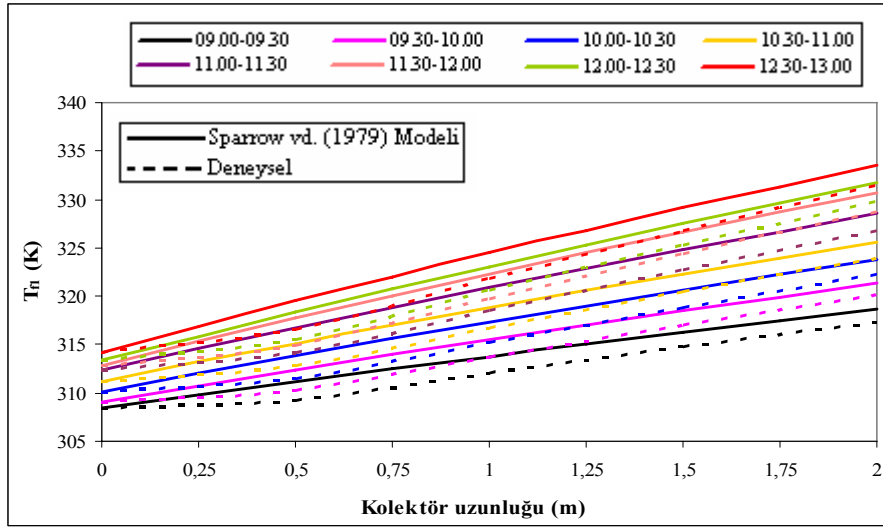
Kolektör Eğimi: 40°

İzotermal model

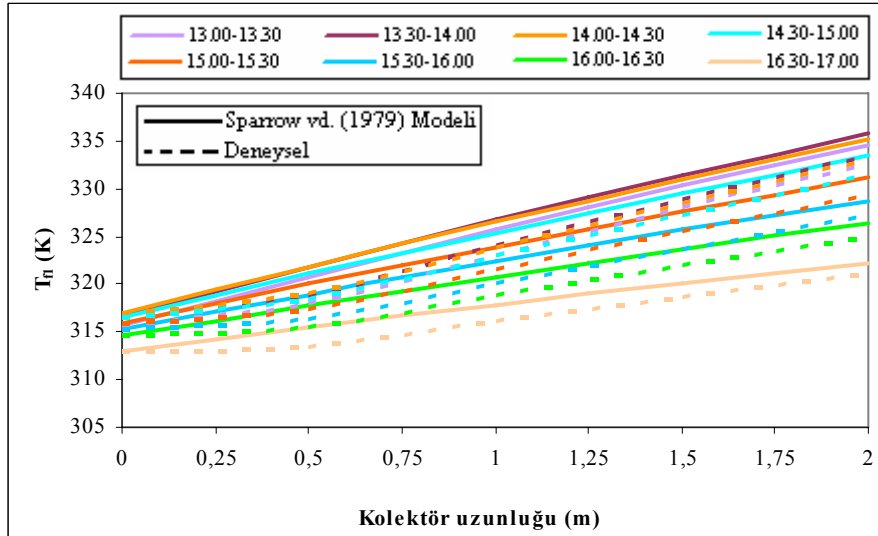
Zaman	T _a (K)	I W/m ²	V _w (m/s)	T _{fi} (K)	η _i Liter. Mod.	η _i Den.	Den. Hata ±	η _{ii} Liter. Mod.	η _{ii} Den.	Den. Hata ±
09.00 - 09.30	301,34	558,82	1,08	308,44	0,816	0,748	0,0018	0,091	0,0686	0,0072
09.30 - 10.00	301,88	656,86	1,12	309,02	0,827	0,758	0,00195	0,104	0,0806	0,0069
10.00 - 10.30	302,26	725,49	1,15	310,16	0,829	0,761	0,00205	0,113	0,0897	0,0066
10.30 - 11.00	303,08	764,7	1,19	311,22	0,829	0,763	0,0021	0,118	0,0944	0,0064
11.00 - 11.30	303,49	852,94	1,2	312,35	0,832	0,767	0,00222	0,129	0,1054	0,0061
11.30 - 12.00	303,97	921,56	1	312,88	0,841	0,772	0,00232	0,137	0,1132	0,0059
12.00 - 12.30	304,67	950,98	1,11	313,35	0,841	0,774	0,00235	0,14	0,1157	0,0058
12.30 - 13.00	305,08	1000	1,21	314,22	0,84	0,772	0,00239	0,145	0,1209	0,0056
13.00 - 13.30	305,47	1000	1,24	315,61	0,834	0,769	0,00238	0,145	0,1215	0,0055
13.30 - 14.00	306,01	1000	1,11	316,65	0,835	0,766	0,00236	0,146	0,1215	0,0055
14.00 - 14.30	306,39	970,58	1,3	316,88	0,83	0,762	0,00229	0,142	0,1176	0,0056
14.30 - 15.00	306,62	901,96	1,25	316,45	0,83	0,76	0,0022	0,134	0,1095	0,0058
15.00 - 15.30	306,98	813,72	1,35	315,88	0,827	0,758	0,00208	0,122	0,0986	0,0061
15.30 - 16.00	307,12	725,49	1,21	315,21	0,826	0,755	0,00196	0,111	0,0875	0,0065
16.00 - 16.30	306,41	647,05	1,21	314,58	0,818	0,751	0,00187	0,102	0,0789	0,0067
16.30 - 17.00	305,98	519,6	1,41	313	0,808	0,741	0,00167	0,084	0,0612	0,0072

Nonizotermal model

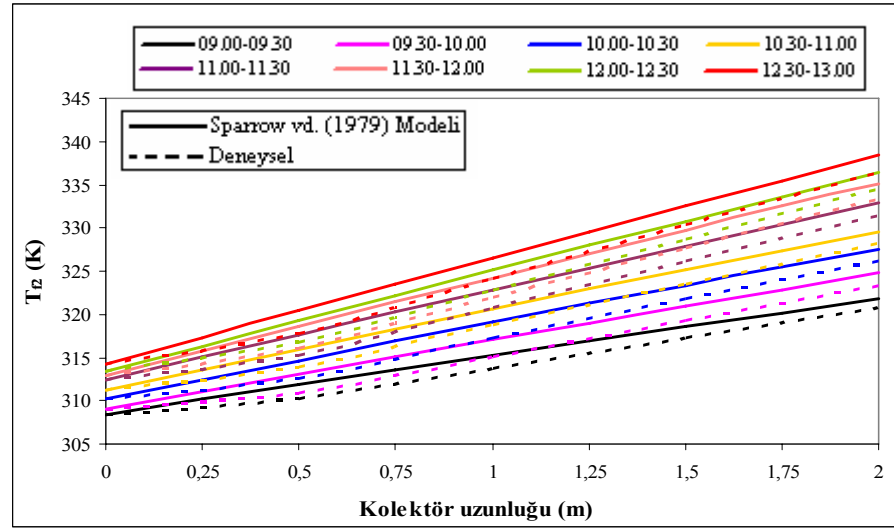
Zaman	η _i Liter. Mod.	η _i Den.	Den. Hata ±	η _{ii} Liter. Mod.	η _{ii} Den.	Den. Hata ±	η _{ii} Liter. Mod.	η _{ii} Den.	Den. Hata ±
09.00 - 09.30	0,699	0,631	0,0040706	0,030	0,0262	0,0044061	0,030	0,0267	0,00402
09.30 - 10.00	0,71	0,641	0,0039185	0,033	0,0287	0,0042825	0,033	0,0292	0,00388
10.00 - 10.30	0,712	0,644	0,0038205	0,036	0,0318	0,0041866	0,037	0,0324	0,00377
10.30 - 11.00	0,712	0,646	0,0037739	0,038	0,0331	0,0041424	0,038	0,0337	0,00373
11.00 - 11.30	0,715	0,65	0,0036948	0,042	0,0366	0,0040634	0,042	0,0372	0,00364
11.30 - 12.00	0,723	0,655	0,00366	0,044	0,0384	0,0040332	0,045	0,0391	0,0036
12.00 - 12.30	0,723	0,657	0,0036434	0,044	0,0386	0,0040207	0,045	0,0393	0,00359
12.30 - 13.00	0,723	0,655	0,0035905	0,046	0,0402	0,0039619	0,047	0,0409	0,00353
13.00 - 13.30	0,717	0,651	0,0035594	0,048	0,0418	0,0039182	0,049	0,0426	0,00349
13.30 - 14.00	0,717	0,649	0,0035363	0,049	0,0425	0,0038885	0,050	0,0433	0,00346
14.00 - 14.30	0,712	0,645	0,0035312	0,047	0,0413	0,0038826	0,048	0,0420	0,00346
14.30 - 15.00	0,712	0,643	0,0035771	0,044	0,0385	0,003933	0,045	0,0392	0,00351
15.00 - 15.30	0,71	0,64	0,0036451	0,040	0,0347	0,0040048	0,041	0,0354	0,00359
15.30 - 16.00	0,708	0,638	0,0037411	0,036	0,0313	0,0041001	0,037	0,0319	0,0037
16.00 - 16.30	0,701	0,633	0,003842	0,034	0,0297	0,0041847	0,034	0,0303	0,00379
16.30 - 17.00	0,691	0,624	0,0040964	0,028	0,0245	0,0044122	0,028	0,0250	0,00405



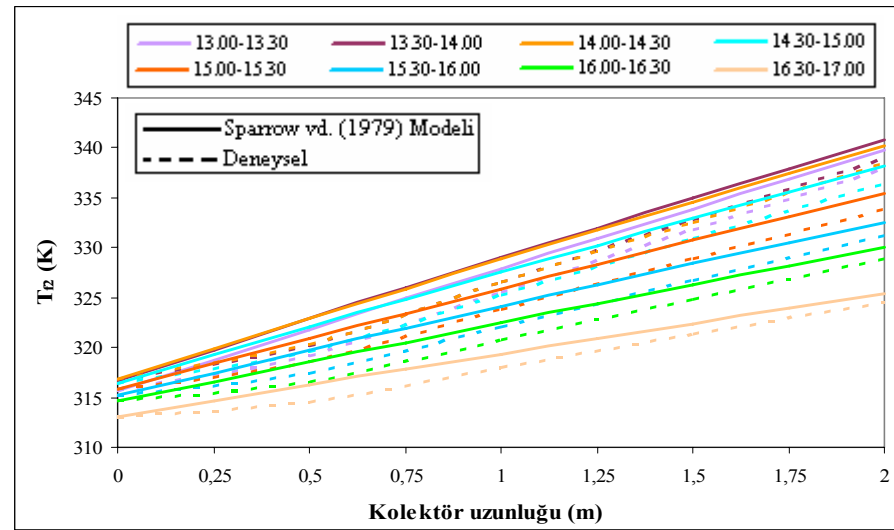
Şekil 7.33. Deney No: 3 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)



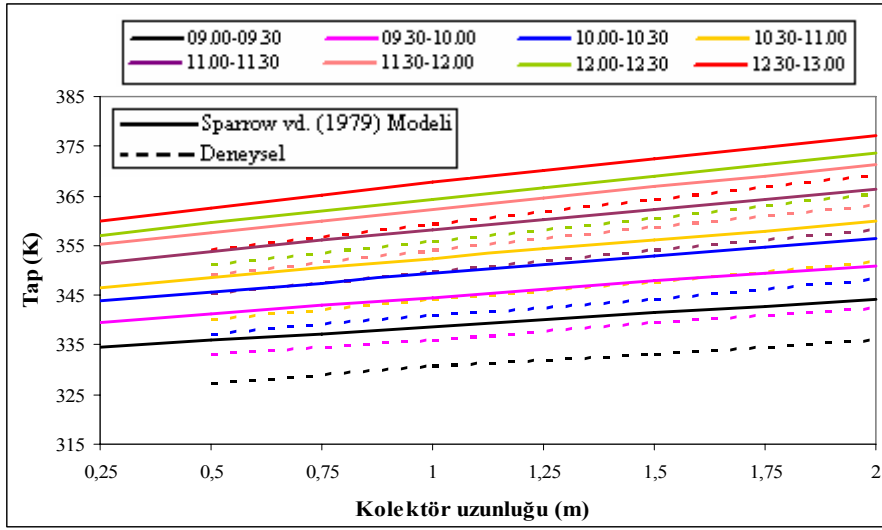
Şekil 7.34. Deney No: 3 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



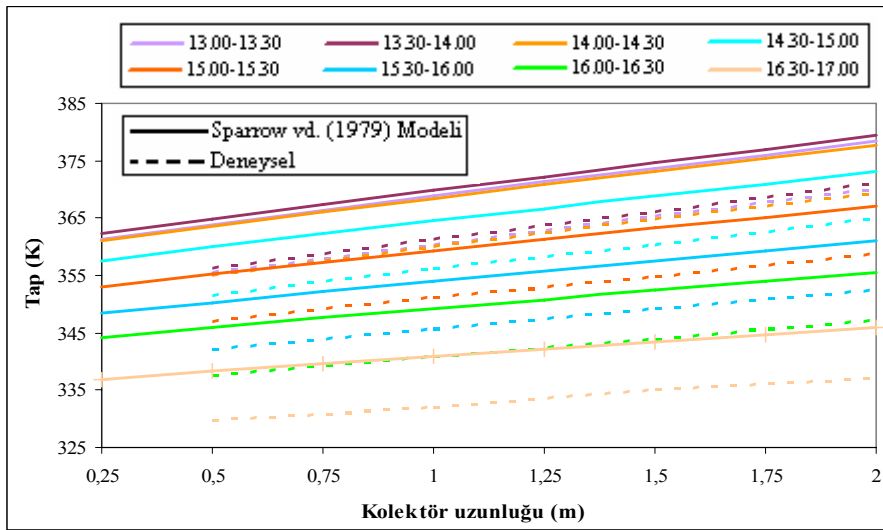
Şekil 7.35. Deney No.3 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)



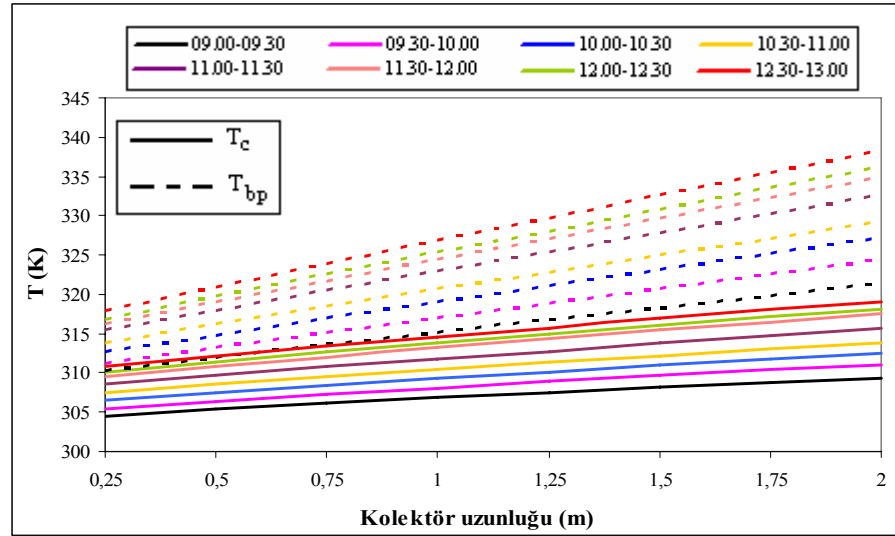
Şekil 7.36. Deney No:3 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



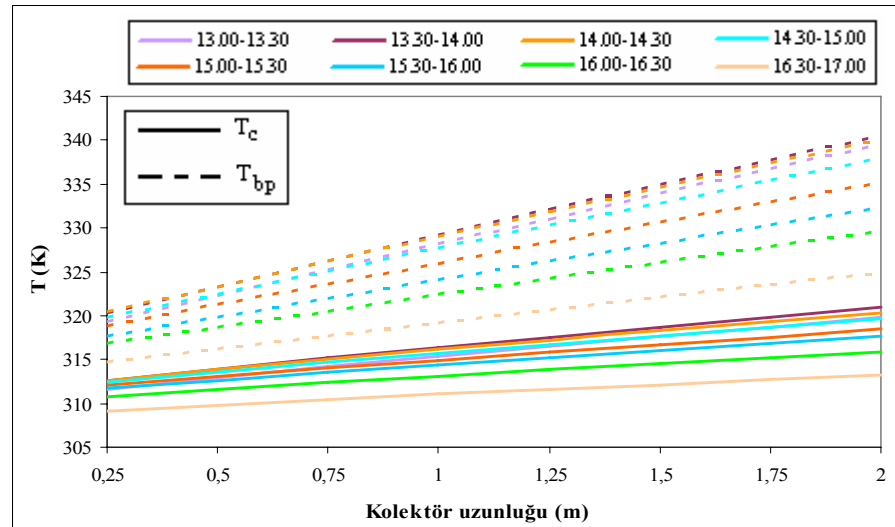
Şekil 7.37. Deney No:3 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)



Şekil 7.38. Deney No:3 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



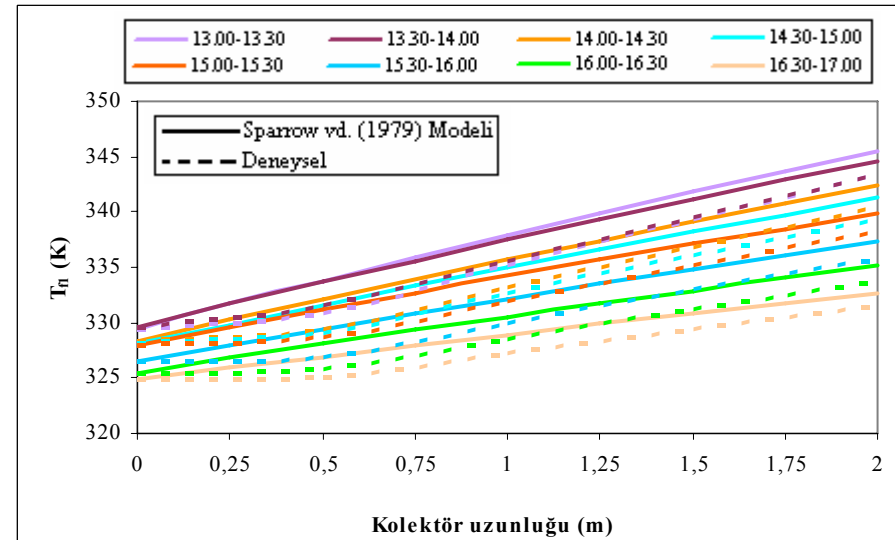
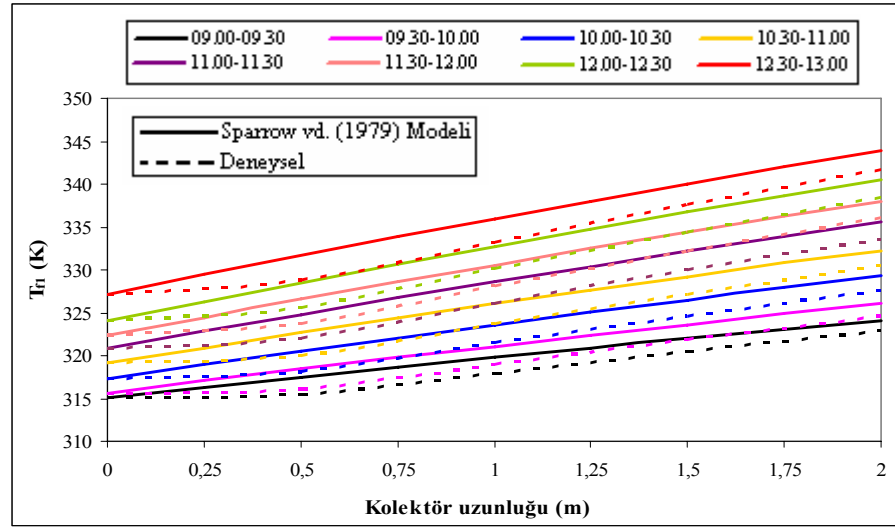
Şekil 7.39. Deney No:3 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)

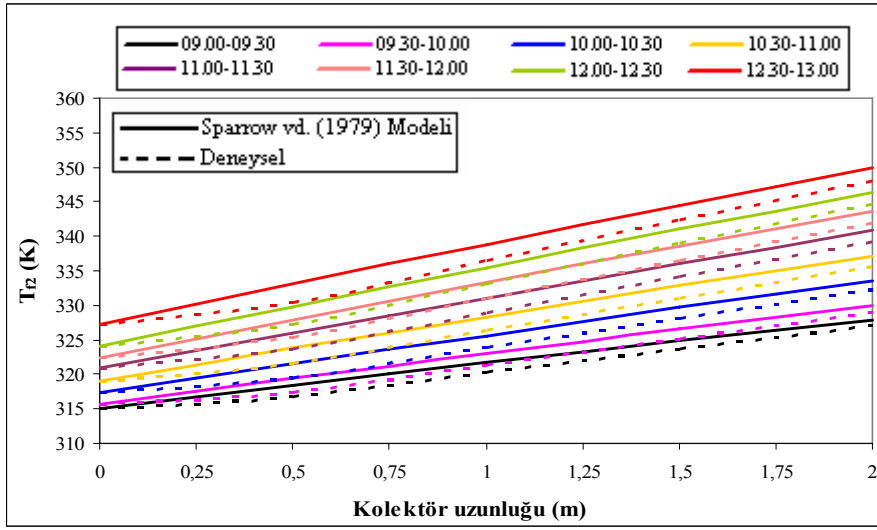


Şekil 7.40. Deney No:3 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)

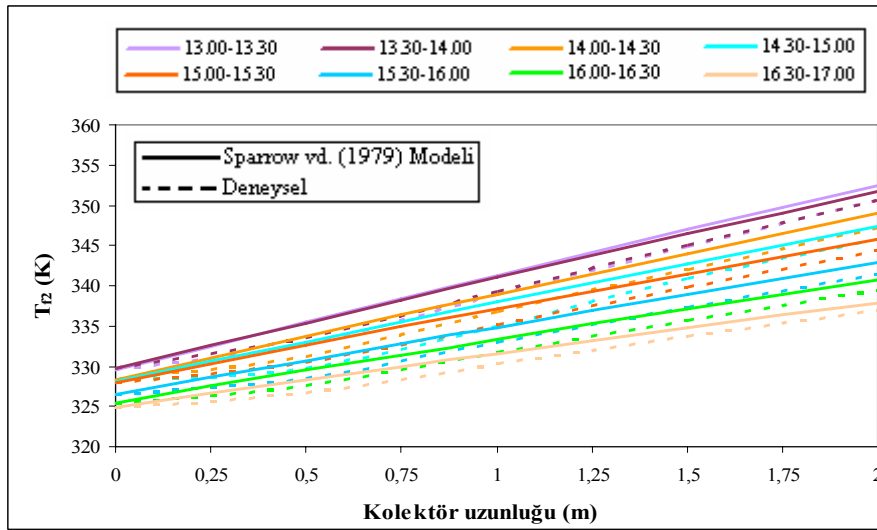
Çizelge 7.7. Deney No:4 sonuçları

Tarih: 09.07.2008										
Kolektör Alanı:2,4 m ²										
Akışkan debisi: 0,033 kg/sm ²										
Yutucu Yüzey: Seçici yüzey										
Üst örtü: Temperli cam										
Kolektör Tipi: Çift hava kanallı										
Kolektör Eğimi: 40°										
İzotermal Model										
Zaman	T _a (K)	I (W/m ²)	V _w (m/s)	T _{ci} (K)	η _I Mod.	η _I Den.	Den. Hata ±	η _{II} Mod.	η _{II} Den.	Den. Hata ±
09.00 - 09.30	304,12	549,01	1,28	315,08	0,779	0,711	0,00159	0,092	0,0692	0,0065
09.30 - 10.00	304,82	607,84	1,2	315,64	0,794	0,723	0,0017	0,1	0,076	0,0064
10.00 - 10.30	305,6	686,27	1,17	317,33	0,799	0,728	0,00181	0,11	0,0862	0,0061
10.30 - 11.00	306,11	764,7	1,32	319,07	0,797	0,724	0,00187	0,12	0,0953	0,0058
11.00 - 11.30	306,61	843,13	1,26	320,84	0,8	0,73	0,002	0,13	0,1055	0,0055
11.30 - 12.00	307,18	901,96	1,24	322,31	0,802	0,732	0,00208	0,137	0,1125	0,0053
12.00 - 12.30	307,61	941,17	1,01	324,02	0,804	0,735	0,00215	0,143	0,1183	0,0051
12.30 - 13.00	308,02	960,78	0,69	327,19	0,801	0,729	0,00216	0,148	0,1229	0,0049
13.00 - 13.30	308,42	980,39	1,19	329,48	0,78	0,711	0,00207	0,148	0,1234	0,0046
13.30 - 14.00	308,63	950,98	1,45	329,66	0,764	0,72	0,0021	0,142	0,1219	0,0048
14.00 - 14.30	308,75	882,35	1,45	328,35	0,769	0,7	0,00189	0,135	0,1111	0,0049
14.30 - 15.00	308,97	833,33	1,36	328,11	0,765	0,696	0,00181	0,129	0,1054	0,0050
15.00 - 15.30	309,24	764,7	1,25	328	0,762	0,693	0,00173	0,122	0,0984	0,0052
15.30 - 16.00	309,05	705,88	1,26	326,42	0,761	0,691	0,00165	0,114	0,0907	0,0054
16.00 - 16.30	309,01	666,66	2,02	325,49	0,737	0,671	0,00147	0,105	0,0826	0,0054
16.30 – 17.00	308,74	568,62	1,89	324,89	0,726	0,662	0,00135	0,094	0,0724	0,0056
Nonizotermal Model										
Zaman	η _I Mod.	η _I Den.	Den. Hata ±	η _{II} Mod.	η _{II} Den.	Den. Hata ±	η _{II} Mod.	η _{II} Den.	Den. Hata ±	
				Metot I			Metot II			
09.00 - 09.30	0,662	0,594	0,00381564	0,036	0,031	0,0040719	0,036	0,032	0,0037231	
09.30 - 10.00	0,676	0,606	0,00374639	0,038	0,032	0,0040305	0,038	0,033	0,0036657	
10.00 - 10.30	0,682	0,611	0,00362677	0,041	0,036	0,0039213	0,042	0,036	0,0035441	
10.30 - 11.00	0,679	0,607	0,00348638	0,045	0,039	0,0037775	0,046	0,04	0,0033957	
11.00 - 11.30	0,683	0,613	0,00342537	0,05	0,043	0,003715	0,051	0,044	0,0033239	
11.30 - 12.00	0,684	0,615	0,00337316	0,053	0,046	0,0036593	0,054	0,047	0,0032639	
12.00 - 12.30	0,687	0,618	0,00334456	0,057	0,049	0,003622	0,058	0,05	0,0032231	
12.30 - 13.00	0,683	0,612	0,00326961	0,062	0,054	0,0035195	0,063	0,055	0,0031245	
13.00 - 13.30	0,663	0,594	0,00314454	0,063	0,055	0,0033719	0,065	0,056	0,0029882	
13.30 - 14.00	0,653	0,585	0,00320773	0,061	0,056	0,003437	0,062	0,057	0,0030492	
14.00 - 14.30	0,652	0,583	0,00316733	0,058	0,05	0,0033957	0,059	0,051	0,0030245	
14.30 - 15.00	0,647	0,579	0,00318833	0,055	0,048	0,0034136	0,056	0,049	0,0030486	
15.00 - 15.30	0,645	0,576	0,00324122	0,053	0,046	0,0034587	0,054	0,047	0,0031013	
15.30 - 16.00	0,644	0,574	0,00331769	0,049	0,043	0,0035366	0,05	0,043	0,0031853	
16.00 - 16.30	0,626	0,559	0,00326758	0,045	0,039	0,003475	0,045	0,04	0,0031403	
16.30 – 17.00	0,608	0,545	0,00340358	0,041	0,036	0,0035777	0,042	0,037	0,0032612	

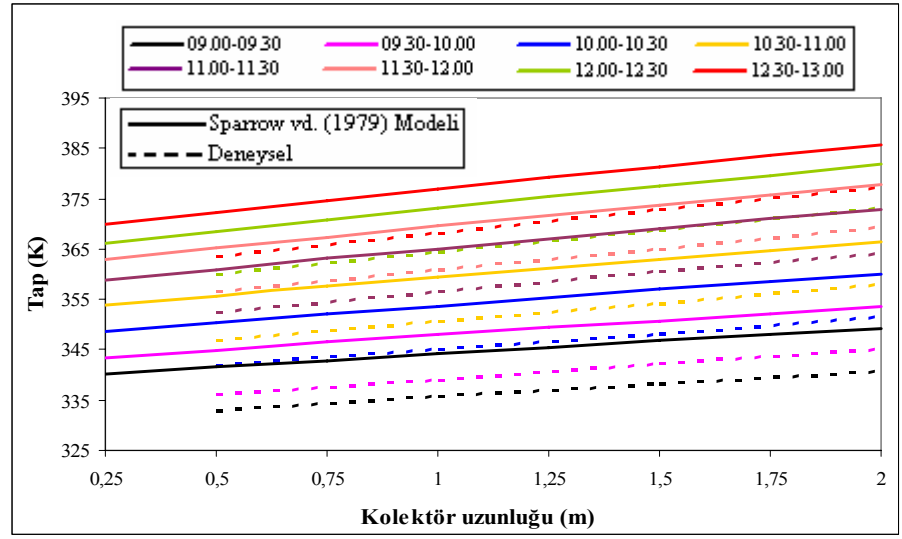




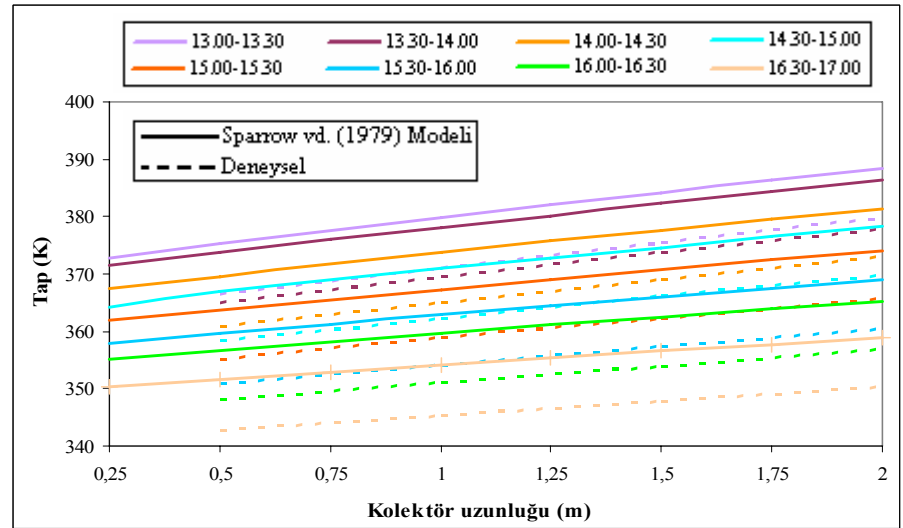
Şekil 7.43. Deney No:4 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)



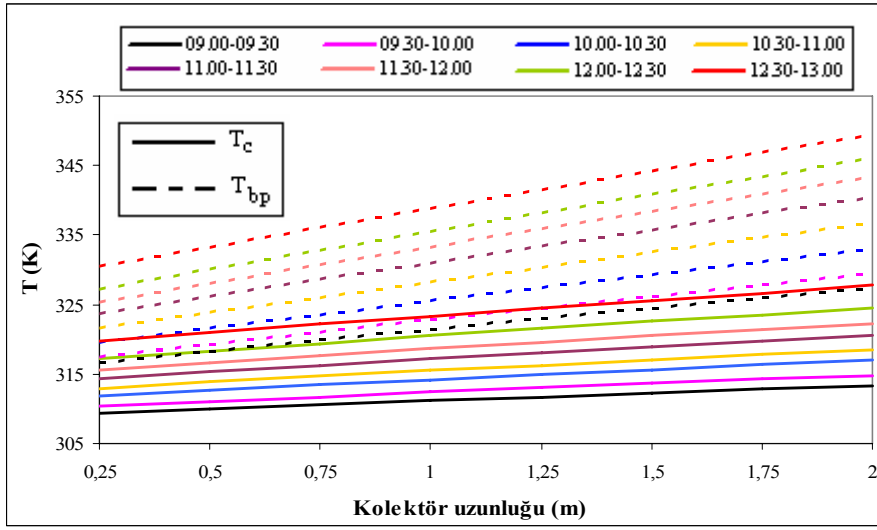
Şekil 7.44. Deney No: 4 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



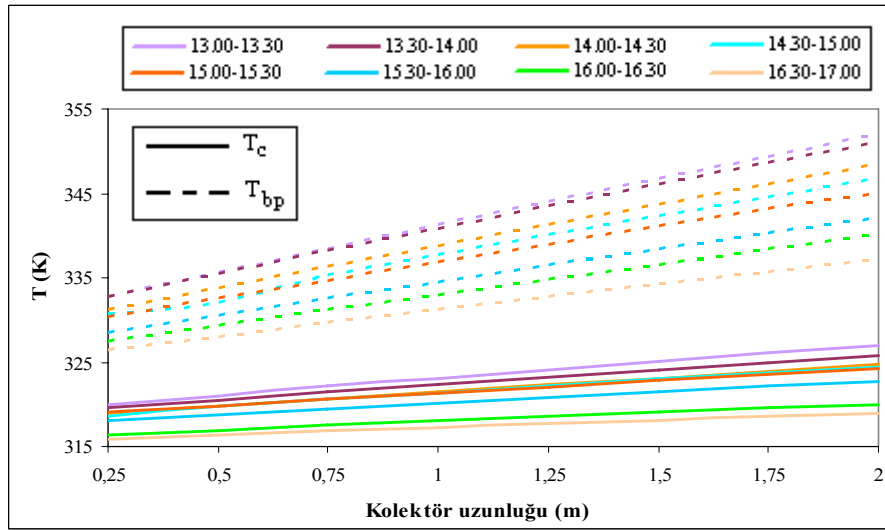
Şekil 7.45. Deney No:4 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:13:00)



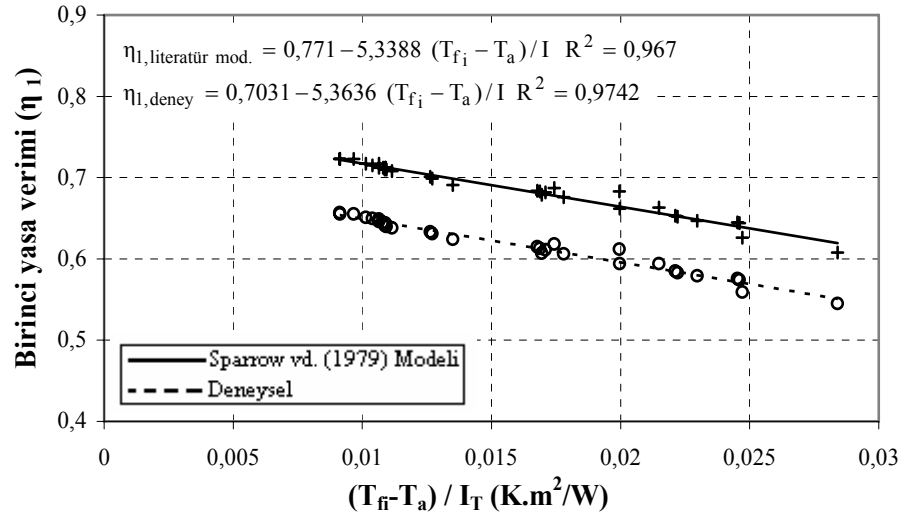
Şekil 7.46. Deney No:4 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



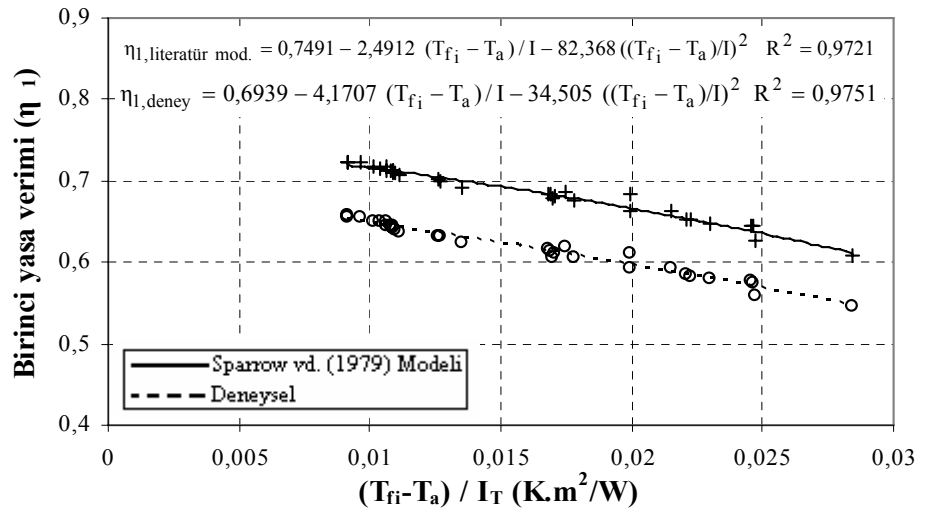
Şekil 7.47. Deney No:4 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)



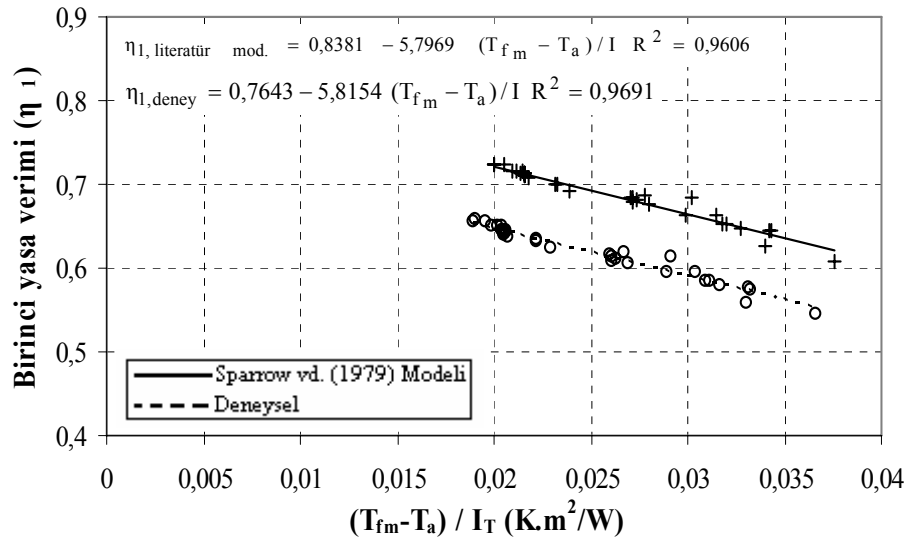
Şekil 7.48. Deney No:4 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



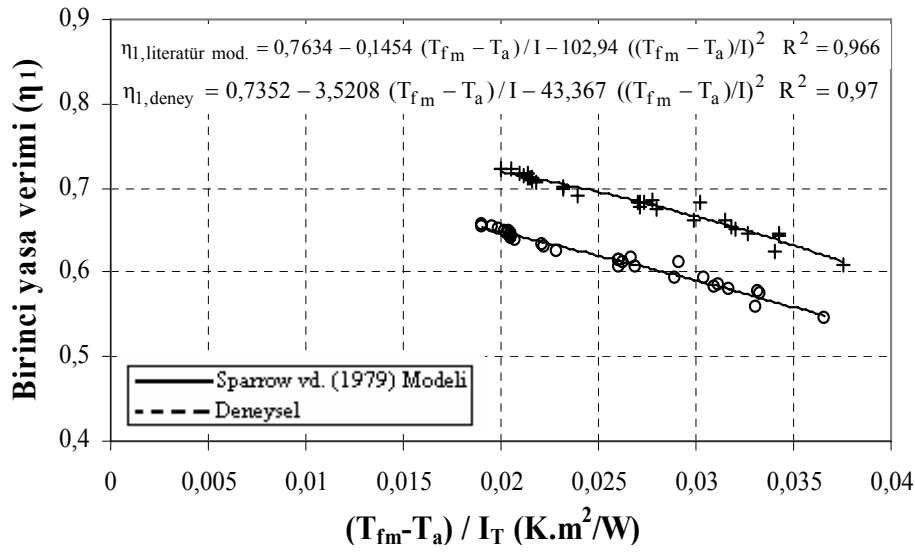
Şekil 7.49. Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:3 ve 4)



Şekil 7.50. Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:3 ve 4)



Şekil 7.51. Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:3 ve 4)



Şekil 7.52. Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:3 ve 4)

7.3.3 Deney No:5 ve 6

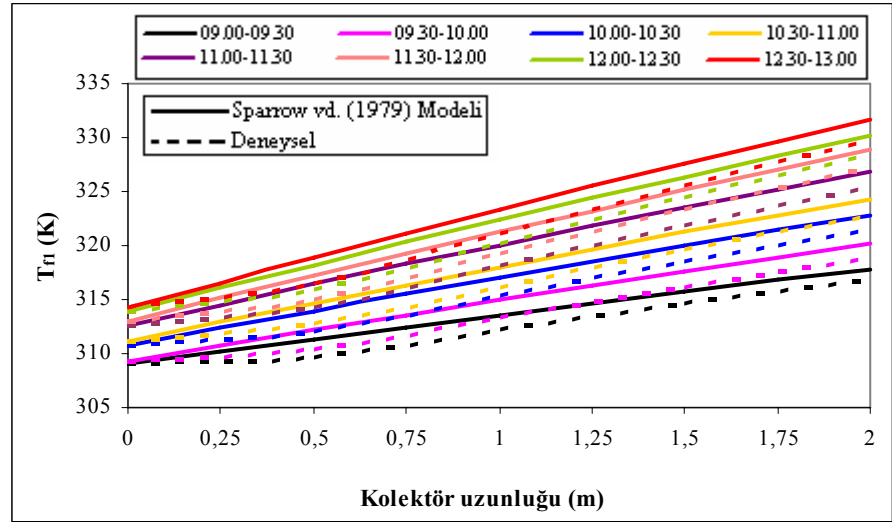
Bu deneylerde kolektörde dolaşan havanın kütleli debisinin $0,04 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda kolektör verim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney No:5’de havanın normal çevre şartlarında kolektöre girmesi sağlanmıştır. Kolektör çalışma parametresini geniş bir aralıkta incelemek amacıyla Deney No:6’da hava kolektöre girmeden önce ön ısıtmaya tabi tutulmuştur. Deneysel olarak ölçülen çevre sıcaklığı, kolektör düzlemine gelen güneş ışıını şiddeti ve giriş sıcaklıklarına göre deneysel ve literatürden alınan Nusselt sayısına bağlı teorik olarak bulunan izotermal ve nonizotermal enerji, ekserji verimleri ve hata değerleri Çizelge 7.8 ve Çizelge 7.9’da verilmiştir.

Literatürde düzlemsel kolektörler için Sparrow vd. (1979) tarafından verilen denklem 5.78 kullanılarak sonlu farklar metodu ile kolektör boyunca $0,25 \text{ m}$ aralıklarla hesaplanan üst ve alt kanaldaki hava, yutucu levha, cam örtü ve alt levha sıcaklıkları; $0,5 \text{ m}$ aralıklarla ölçülen üst, alt kanaldaki hava ve yutucu levha üzerindeki sıcaklık değerleri ile karşılaştırılmış ve Şekil 7.53-7.68’de verilmiştir.

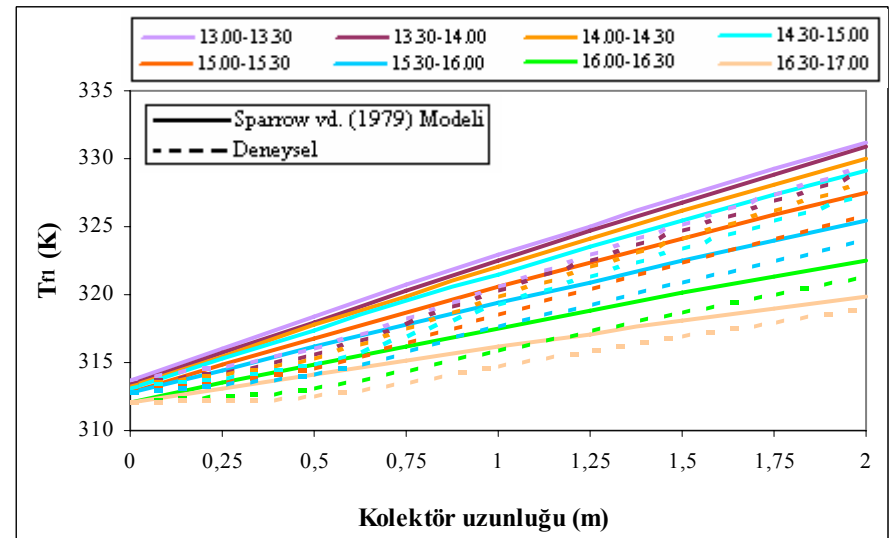
Kolektör verim eğrileri çalışma akışkanının giriş sıcaklığına veya ortalama akışkan sıcaklığına göre oluşturulmaktadır. Çalışma akışkanının kütleli debisinin $0,04 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda literatür modelinden ve deneysel olarak bulunan kolektör veriminin giriş sıcaklığına göre doğrusal ve ikinci derece değişimi sırasıyla Şekil 7.69 ve 7.70, çalışma akışkanının ortalama sıcaklığına göre doğrusal ve ikinci derece değişimi sırasıyla Şekil 7.71 ve 7.72’de gösterilmektedir. Doğrusal ve ikinci dereceden yaklaşımlar şekillerde verilmektedir.

Çizelge 7.8. Deney No:5 sonuçları

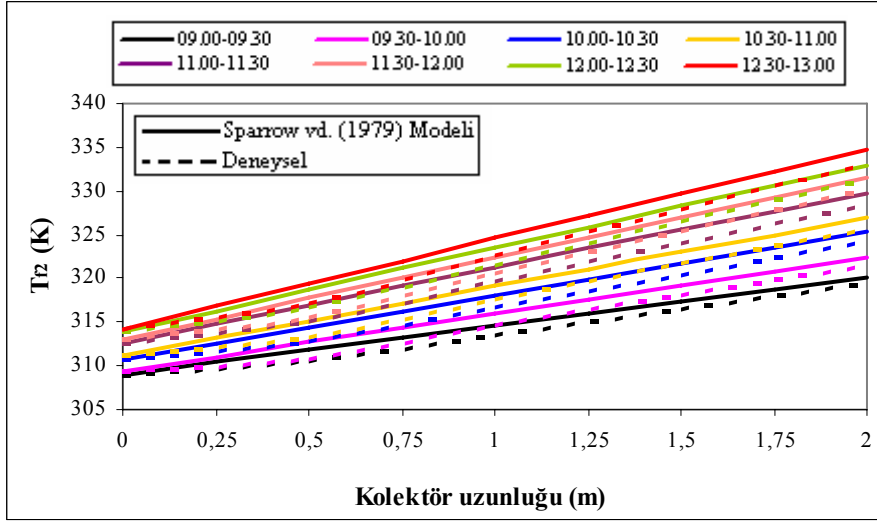
Tarih: 11.07.2008				Akışkan debisi: 0,04 kg/sm ²						
Kolektör Alanı:2,4 m ²				Üst örtü: Temperli cam						
Yutucu Yüzey: Seçici yüzey				Kolektör Eğimi: 40°						
Kolektör Tipi: Çift hava kanallı										
İzotermal model										
Zaman	T _a (K)	I (W/m ²)	V _w (m/s)	T _{f,i} (K)	η _I Liter. Mod.	η _I Den.	Den. Hata ±	η _{II} Liter. Mod.	η _{III} Den.	Den. Hata ±
09.00 - 09.30	304,21	558,82	1,19	309	0,837	0,77	0,00179	0,081	0,0596	0,0077
09.30 - 10.00	305,14	656,86	1,24	309,31	0,852	0,784	0,00193	0,092	0,0698	0,0075
10.00 - 10.30	306,02	725,49	1,09	310,69	0,857	0,788	0,002	0,101	0,0782	0,0072
10.30 - 11.00	306,29	784,31	1,13	311,33	0,849	0,781	0,00199	0,106	0,0839	0,0069
11.00 - 11.30	307,24	852,94	1,01	312,55	0,862	0,793	0,00212	0,116	0,0929	0,0067
11.30 - 12.00	308,46	921,56	0,97	312,98	0,87	0,801	0,0022	0,122	0,0987	0,0066
12.00 - 12.30	309	941,17	0,72	313,88	0,873	0,803	0,00223	0,125	0,1016	0,0065
12.30 - 13.00	309,26	1009,8	0,79	314,08	0,878	0,809	0,00232	0,132	0,1091	0,0063
13.00 - 13.30	309,41	1009,8	0,88	313,65	0,877	0,808	0,0023	0,131	0,1076	0,0063
13.30 - 14.00	309,68	990,19	0,61	313,31	0,883	0,812	0,00231	0,128	0,1053	0,0065
14.00 - 14.30	309,87	970,58	1,25	313,19	0,875	0,805	0,00223	0,125	0,1015	0,0065
14.30 - 15.00	309,31	931,37	1,15	313,07	0,873	0,802	0,0022	0,121	0,0984	0,0066
15.00 - 15.30	308,95	862,74	1,18	312,78	0,869	0,799	0,00213	0,114	0,0914	0,0068
15.30 - 16.00	308,23	764,7	1,56	312,75	0,855	0,786	0,00199	0,103	0,0813	0,007
16.00 - 16.30	307,91	637,25	1,47	312,11	0,849	0,78	0,00187	0,088	0,0668	0,0075
16.30 – 17.00	307,02	509,8	1,59	312,01	0,826	0,76	0,00167	0,074	0,053	0,0077
Nonizotermal model										
Zaman	η _I Liter. Mod.	η _I Den.	Den. Hata ±	η _{II} Liter. Mod.	η _{III} Den.	Den. Hata ±	η _{II} Liter. Mod.	η _{III} Den.	Den. Hata ±	
				Metot I			Metot II			
09.00 - 09.30	0,719	0,653	0,0037798	0,028	0,0204	0,0041554	0,028	0,0208	0,00372	
09.30 - 10.00	0,735	0,667	0,0036037	0,030	0,0214	0,004039	0,031	0,0218	0,003573	
10.00 - 10.30	0,739	0,671	0,0034891	0,033	0,0239	0,0039408	0,034	0,0243	0,003461	
10.30 - 11.00	0,742	0,674	0,0033632	0,036	0,0252	0,0038176	0,036	0,0257	0,003336	
11.00 - 11.30	0,744	0,676	0,00333	0,040	0,0277	0,0038024	0,040	0,0282	0,003305	
11.30 - 12.00	0,753	0,684	0,0032973	0,041	0,0276	0,0037925	0,041	0,0282	0,003283	
12.00 - 12.30	0,756	0,686	0,0032801	0,041	0,0288	0,0037743	0,042	0,0294	0,003263	
12.30 - 13.00	0,757	0,688	0,0032537	0,044	0,0304	0,003759	0,045	0,0309	0,003238	
13.00 - 13.30	0,76	0,69	0,0032493	0,048	0,029	0,0037593	0,049	0,0295	0,00324	
13.30 - 14.00	0,766	0,695	0,0032858	0,052	0,0276	0,003804	0,053	0,0281	0,003283	
14.00 - 14.30	0,758	0,688	0,0032718	0,050	0,0261	0,0037865	0,051	0,0265	0,003272	
14.30 - 15.00	0,756	0,685	0,0032906	0,047	0,0261	0,0037948	0,048	0,0266	0,003285	
15.00 - 15.30	0,752	0,682	0,0033472	0,043	0,0249	0,0038408	0,044	0,0254	0,00334	
15.30 - 16.00	0,738	0,669	0,0034038	0,041	0,0239	0,0038624	0,042	0,0244	0,003382	
16.00 - 16.30	0,731	0,663	0,0036068	0,040	0,0208	0,0040286	0,041	0,0211	0,003574	
16.30 – 17.00	0,709	0,643	0,0038696	0,033	0,0194	0,0042019	0,034	0,0197	0,003793	



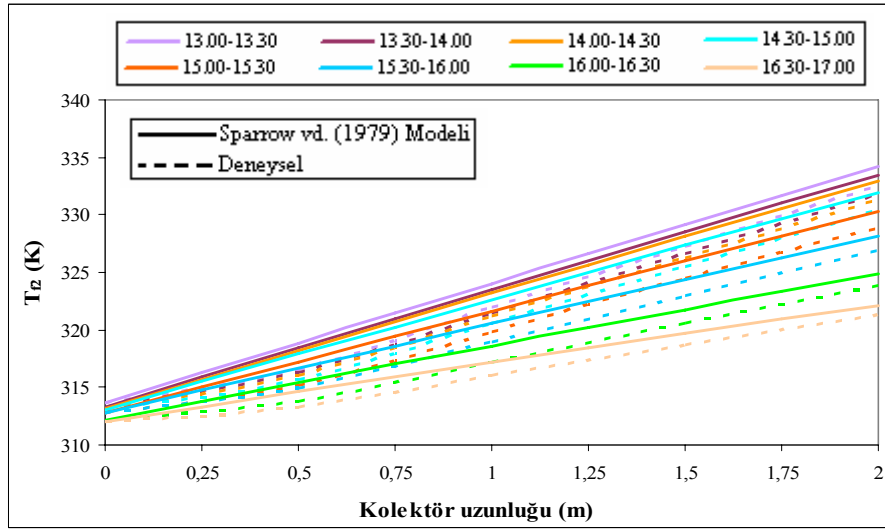
Şekil 7.53. Deney No:5 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)



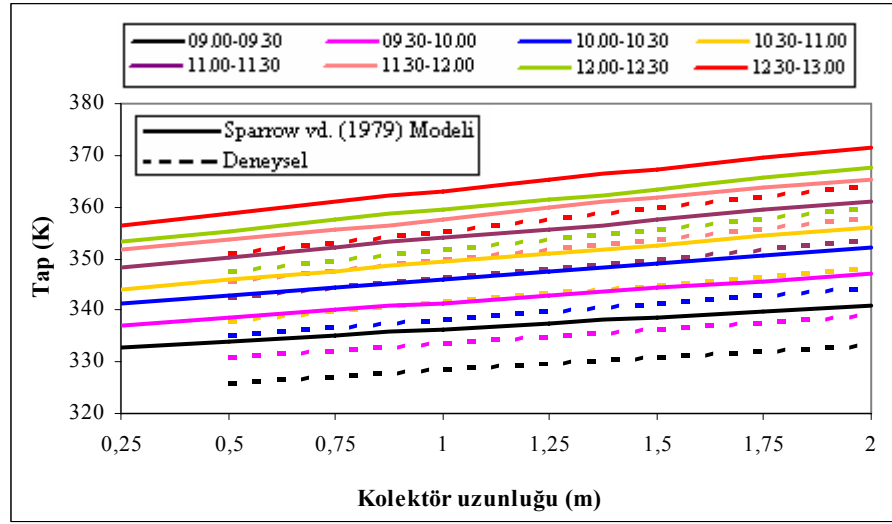
Şekil 7.54. Deney No:5 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



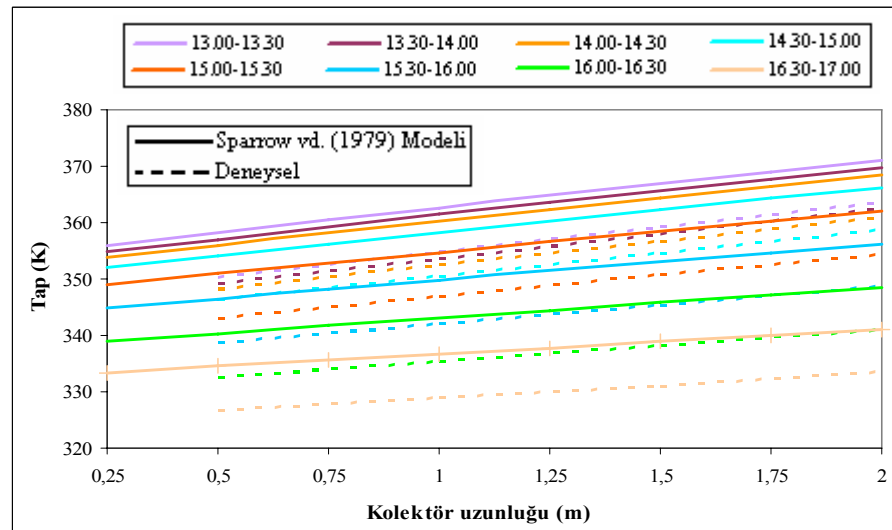
Şekil 7.55. Deney No:5 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)



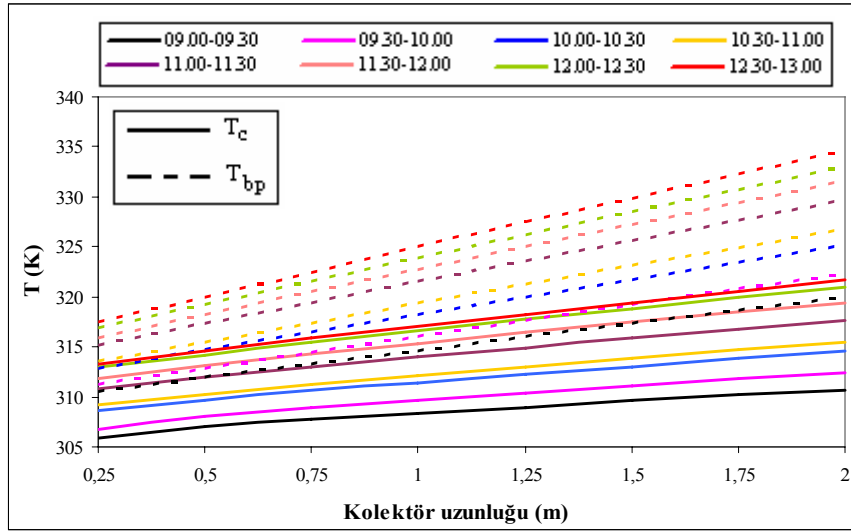
Şekil 7.56. Deney No:5 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



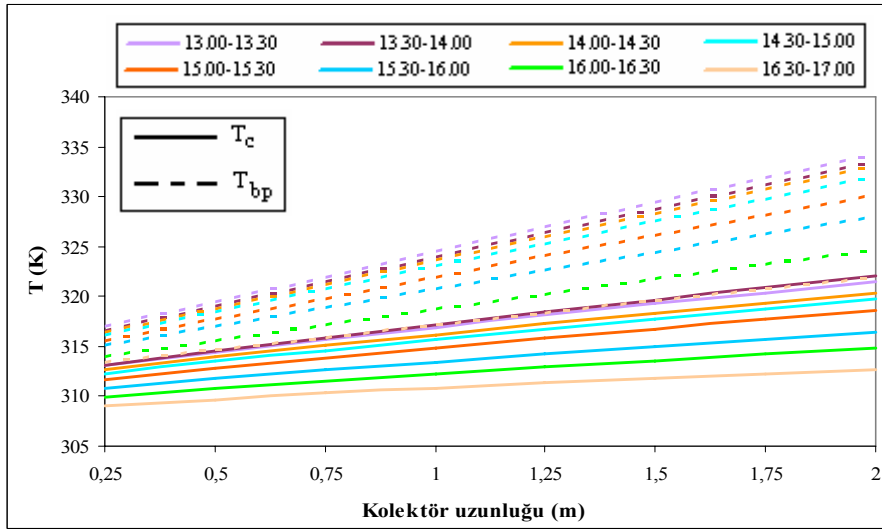
Şekil 7.57. Deney No:5 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09.00-13:00)



Şekil 7.58. Deney No:5 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13.00-17:00)



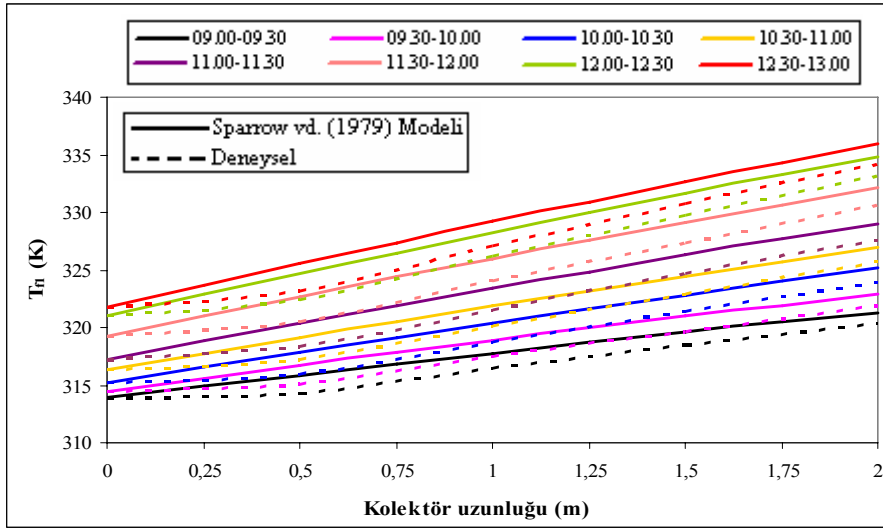
Şekil 7.59. Deney No:5 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)



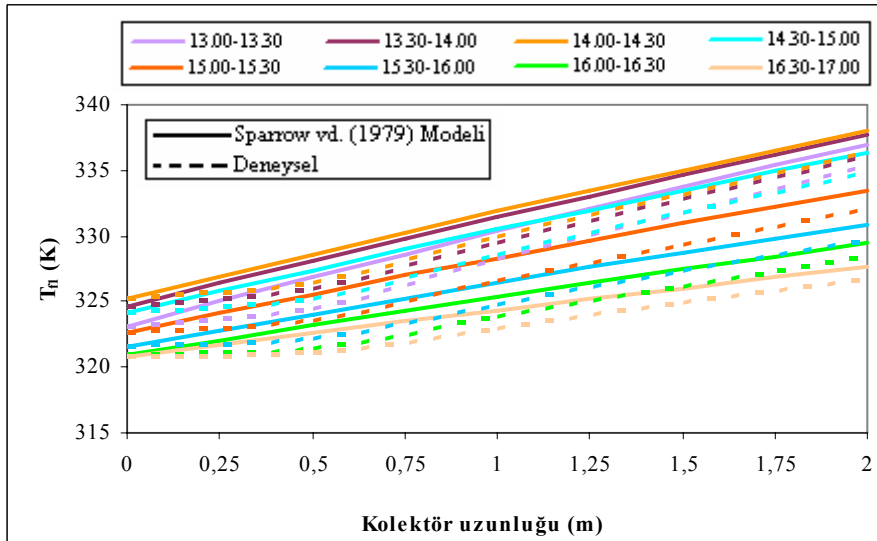
Şekil 7.60. Deney No:5 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)

Çizelge 7.9. Deney No:6 sonuçları

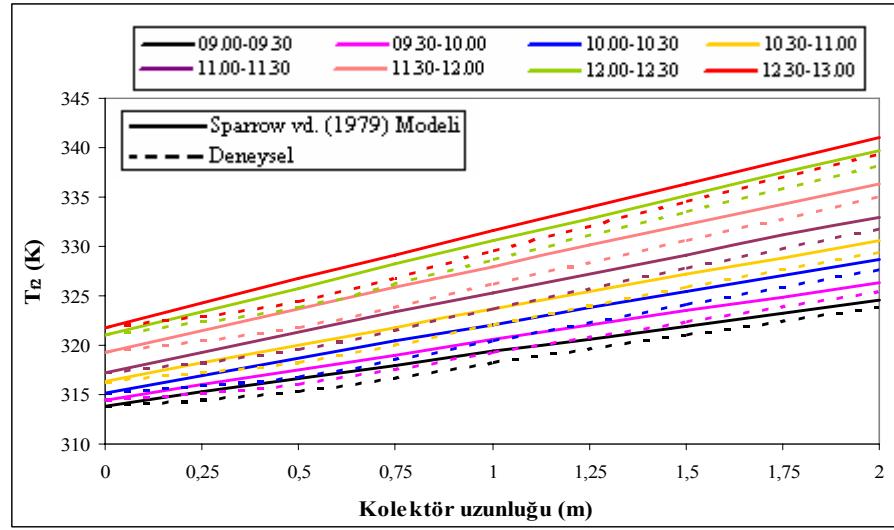
Tarih: 13.07.2008										
Kolektör Alanı:2,4 m ²										
Akışkan debisi: 0,04 kg/sm ²										
Yutucu Yüzey: Seçici yüzey										
Üst örtü: Temperli cam										
Kolektör Tipi: Çift hava kanallı										
Kolektör Eğimi: 40°										
İzotermal model										
Zaman	T _a (K)	I (W/m ²)	V _w (m/s)	T _{fi} (K)	η _I Liter. Mod.	η _I Den.	Den. Hata ±	η _{II} Liter. Mod.	η _{II} Den.	Den. Hata ±
09.00 - 09.30	302,97	549,01	1,34	313,88	0,781	0,719	0,00155	0,086	0,0659	0,0068
09.30 - 10.00	303,41	607,84	1,31	314,48	0,791	0,724	0,00161	0,093	0,0721	0,0066
10.00 - 10.30	304,08	686,27	1,28	315,22	0,805	0,736	0,00173	0,103	0,081	0,0064
10.30 - 11.00	304,57	725,49	1,11	316,33	0,809	0,74	0,00179	0,108	0,086	0,0063
11.00 - 11.30	304,63	803,92	1,22	317,21	0,809	0,743	0,00187	0,117	0,0951	0,006
11.30 - 12.00	304,91	862,74	0,85	319,29	0,814	0,746	0,00195	0,127	0,1038	0,0057
12.00 - 12.30	305,44	950,98	1,26	320,98	0,807	0,741	0,00199	0,135	0,1121	0,0053
12.30 - 13.00	305,71	980,39	1,27	321,72	0,807	0,739	0,00199	0,138	0,1149	0,0052
13.00 - 13.30	305,86	980,39	1,45	323,12	0,796	0,729	0,00194	0,138	0,115	0,005
13.30 - 14.00	306,47	941,17	1,41	324,65	0,788	0,724	0,00189	0,134	0,1121	0,0051
14.00 - 14.30	307,24	921,56	1,35	325,24	0,789	0,722	0,00185	0,132	0,1097	0,0051
14.30 - 15.00	306,59	882,35	1,29	324,21	0,785	0,719	0,00181	0,128	0,1055	0,0052
15.00 - 15.30	306,94	803,92	1,74	322,69	0,78	0,714	0,0017	0,117	0,0952	0,0055
15.30 - 16.00	307,16	705,88	1,65	321,54	0,775	0,711	0,0016	0,105	0,0838	0,0059
16.00 - 16.30	307,59	647,05	1,58	320,92	0,773	0,708	0,00153	0,097	0,0767	0,0061
16.30 - 17.00	307,21	558,82	1,71	320,78	0,749	0,686	0,00135	0,087	0,0667	0,0062
Nonizotermal model										
Zaman	η _I Liter. Mod.	η _I Den.	Den. Hata ±	η _{II} Liter. Mod.	η _{II} Den.	Den. Hata ±	η _{III} Liter. Mod.	η _{III} Den.	Den. Hata ±	
				Metot I			Metot II			
09.00 - 09.30	0,663	0,602	0,0035071	0,049	0,0299	0,0037587	0,050	0,0305	0,00336	
09.30 - 10.00	0,673	0,607	0,0033747	0,052	0,0314	0,003661	0,053	0,0319	0,00324	
10.00 - 10.30	0,687	0,619	0,0032682	0,059	0,0334	0,0035953	0,060	0,034	0,00315	
10.30 - 11.00	0,692	0,623	0,0032145	0,069	0,0354	0,0035507	0,070	0,036	0,0031	
11.00 - 11.30	0,692	0,626	0,0031185	0,077	0,0383	0,0034699	0,079	0,039	0,00301	
11.30 - 12.00	0,697	0,629	0,0030516	0,080	0,0428	0,0033997	0,082	0,0436	0,00293	
12.00 - 12.30	0,69	0,624	0,0029392	0,080	0,0458	0,0032878	0,082	0,0466	0,00282	
12.30 - 13.00	0,69	0,622	0,0029017	0,093	0,0468	0,0032487	0,094	0,0477	0,00278	
13.00 - 13.30	0,679	0,612	0,0028483	0,100	0,0481	0,0031782	0,102	0,049	0,00271	
13.30 - 14.00	0,671	0,607	0,0028443	0,094	0,0486	0,0031572	0,095	0,0495	0,0027	
14.00 - 14.30	0,671	0,605	0,0028494	0,079	0,0478	0,0031594	0,080	0,0487	0,00271	
14.30 - 15.00	0,668	0,602	0,0028755	0,08	0,0464	0,0031794	0,081	0,0472	0,00273	
15.00 - 15.30	0,662	0,597	0,0029468	0,082	0,0415	0,0032465	0,083	0,0423	0,00281	
15.30 - 16.00	0,658	0,593	0,0030702	0,079	0,0374	0,0033502	0,081	0,0381	0,00293	
16.00 - 16.30	0,656	0,591	0,0031692	0,073	0,0346	0,0034343	0,075	0,0352	0,00303	
16.30 - 17.00	0,632	0,569	0,0032681	0,069	0,0324	0,0034666	0,071	0,033	0,00309	



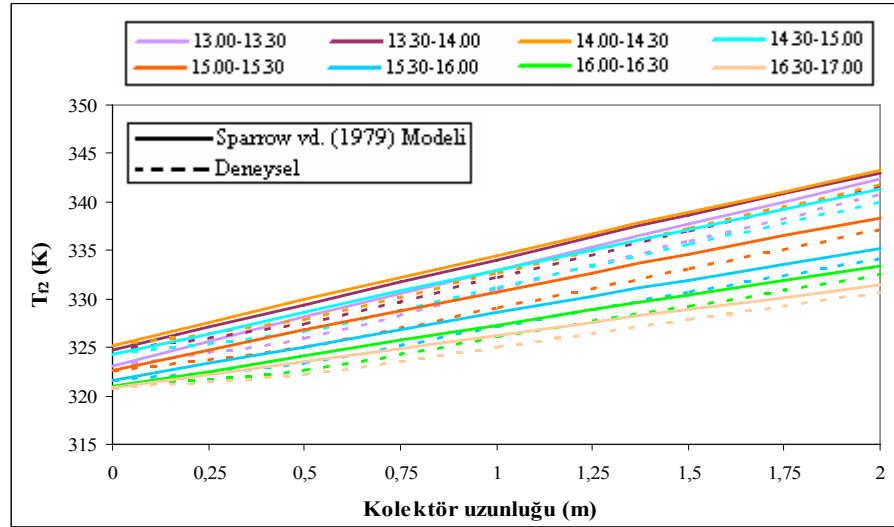
Şekil 7.61. Deney No:6 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)



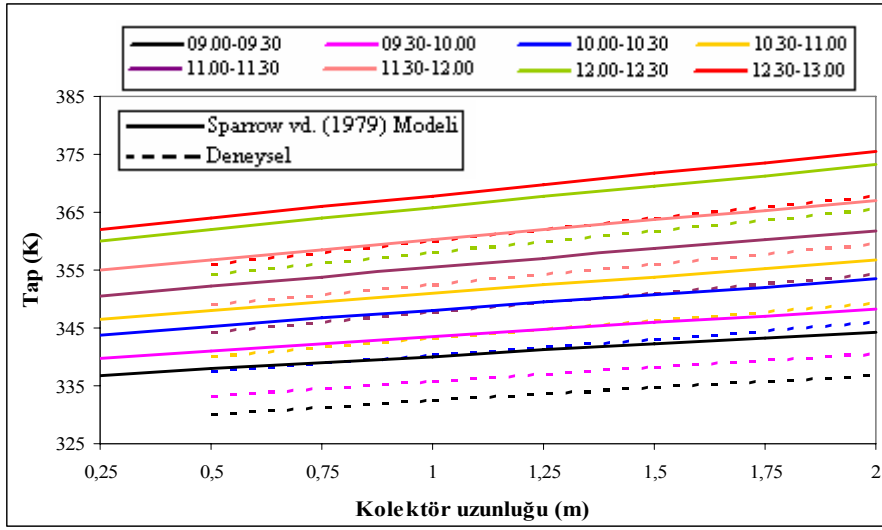
Şekil 7.62. Deney No:6 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



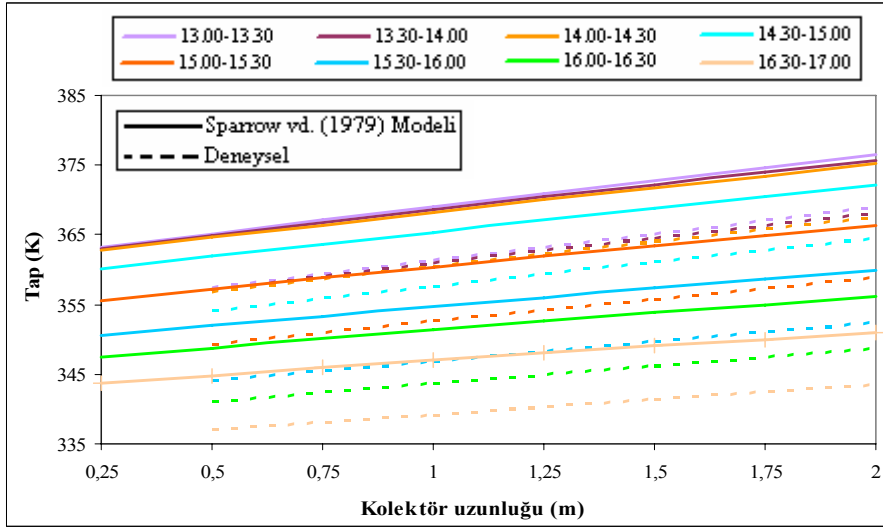
Şekil 7.63. Deney No:6 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)



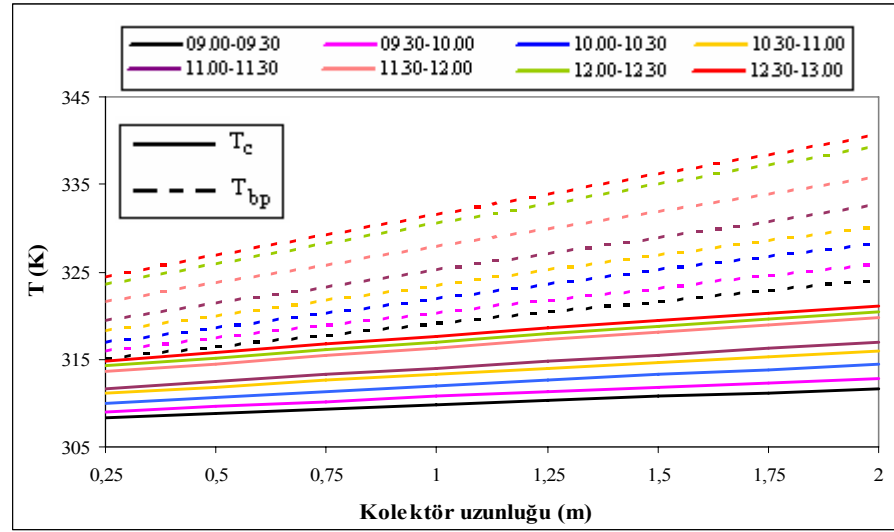
Şekil 7.64. Deney No:6 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



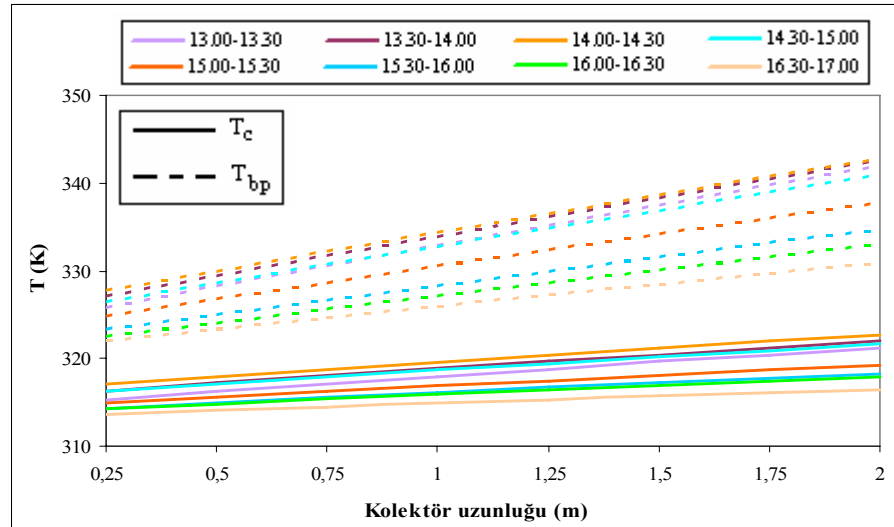
Şekil 7.65. Deney No:6 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)



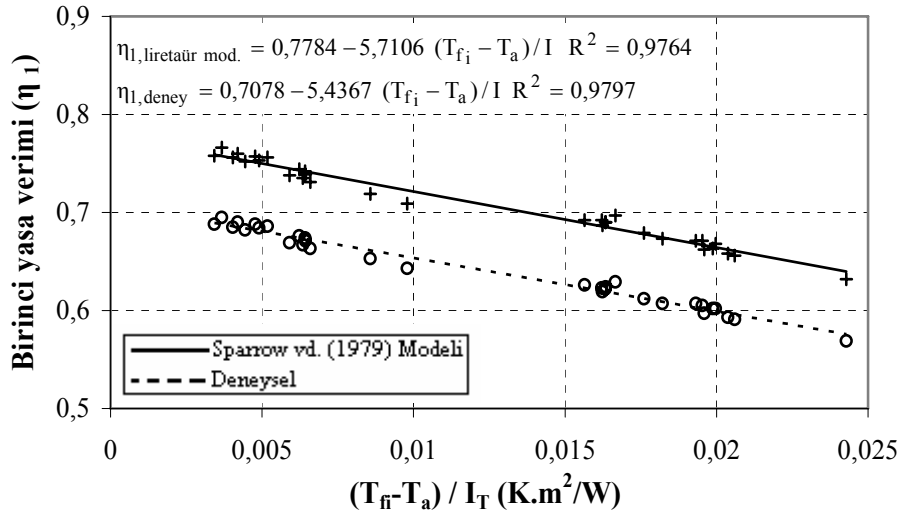
Şekil 7.66. Deney No:6 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



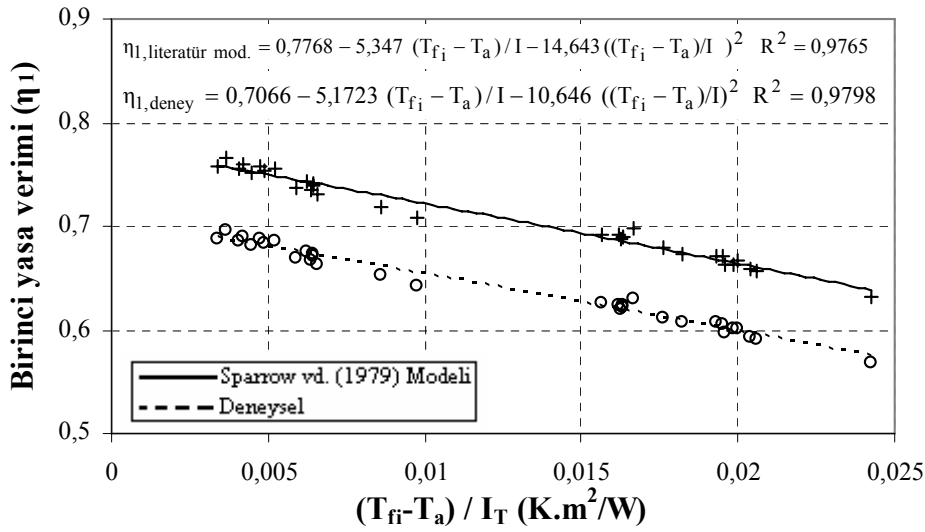
Şekil 7.67. Deney No:6 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)



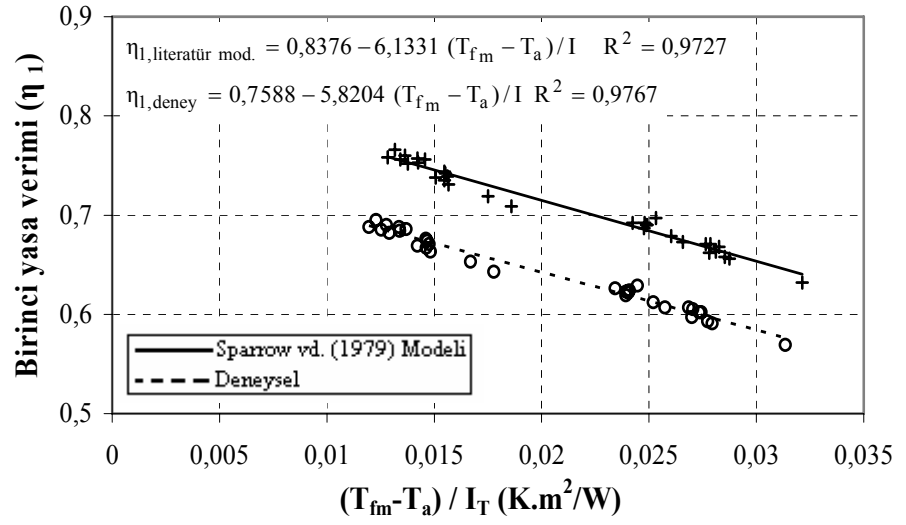
Şekil 7.68. Deney No:6 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



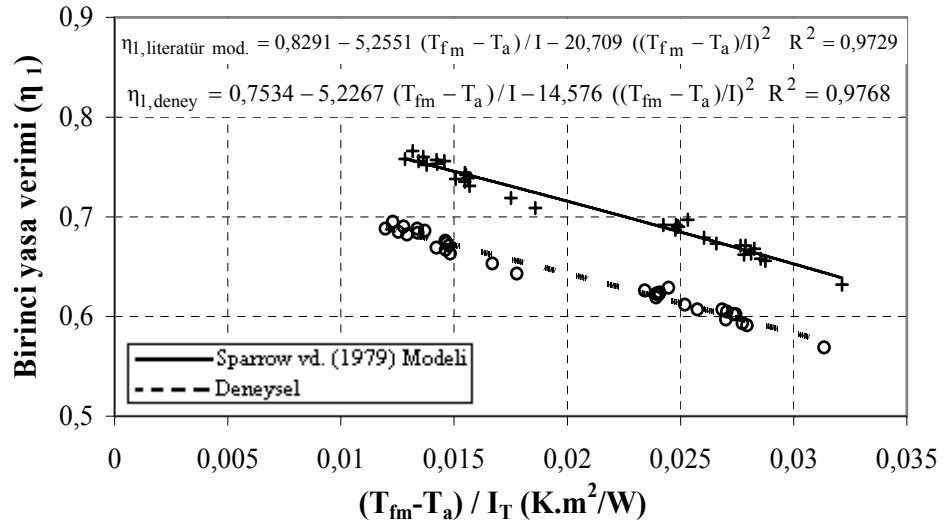
Şekil 7.69. Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:5 ve 6)



Şekil 7.70. Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:5 ve 6)



Şekil 7.71. Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:5 ve 6)



Şekil 7.72. Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:5 ve 6)

7.3.4 Deney No:7 ve 8

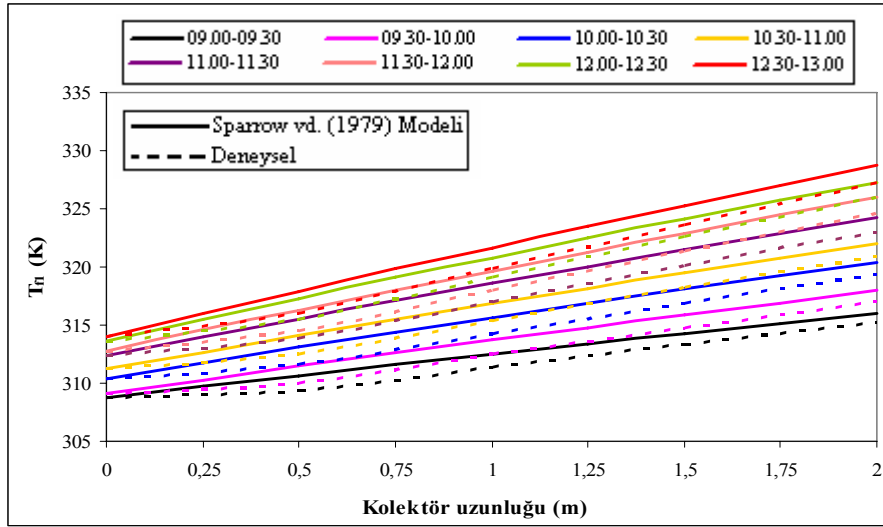
Bu deneylerde kolektörde dolaşan havanın kütleli debisinin $0,048 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda kolektör verim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney No:7’de havanın normal çevre şartlarında kolektöre girmesi sağlanmıştır. Kolektör çalışma parametresini geniş bir aralıkta incelemek amacıyla Deney No:8’de hava kolektöre girmeden önce ön ısıtmaya tabi tutulmuştur. Deneysel olarak ölçülen çevre sıcaklığı, kolektör düzlemine gelen güneş ışımasını şiddeti ve giriş sıcaklıklarına göre deneysel ve literatürden alınan Nusselt sayısına bağlı teorik olarak bulunan izotermal ve nonizotermal enerji, ekserji verimleri ve hata değerleri Çizelge 7.10 ve Çizelge 7.11’de verilmiştir.

Literatürde düzlemsel kolektörler için Sparrow vd. (1979) tarafından verilen denklem 5.78 kullanılarak sonlu farklar metodu ile kolektör boyunca 0,25 m aralıklarla hesaplanan üst ve alt kanaldaki hava, yutucu levha, cam örtü ve alt levha sıcaklıkları; 0,5 m aralıklarla ölçülen üst, alt kanaldaki hava ve yutucu levha üzerindeki sıcaklık değerleri ile karşılaştırılmış ve Şekil 7.73-7.88’de verilmiştir.

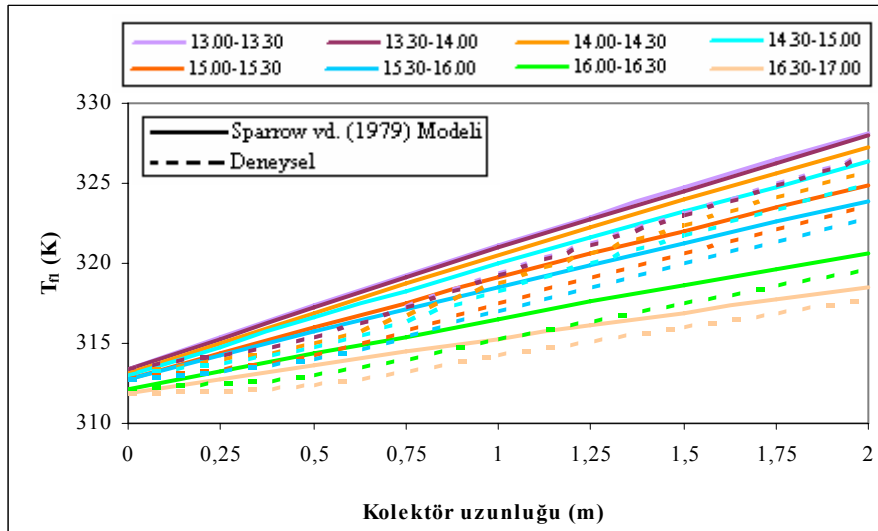
Kolektör verim eğrileri çalışma akışkanının giriş sıcaklığına veya ortalama akışkan sıcaklığına göre oluşturulmaktadır. Çalışma akışkanının kütleli debisinin $0,048 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda literatür modelinden ve deneysel olarak bulunan kolektör veriminin giriş sıcaklığına göre doğrusal ve ikinci derece değişimi sırasıyla Şekil 7.89 ve 7.90, çalışma akışkanının ortalama sıcaklığına göre doğrusal ve ikinci derece değişimi sırasıyla Şekil 7.91 ve 7.92’de gösterilmektedir. Doğrusal ve ikinci dereceden yaklaşımlar şekillerde verilmektedir.

Çizelge 7.10. Deney No:7 sonuçları

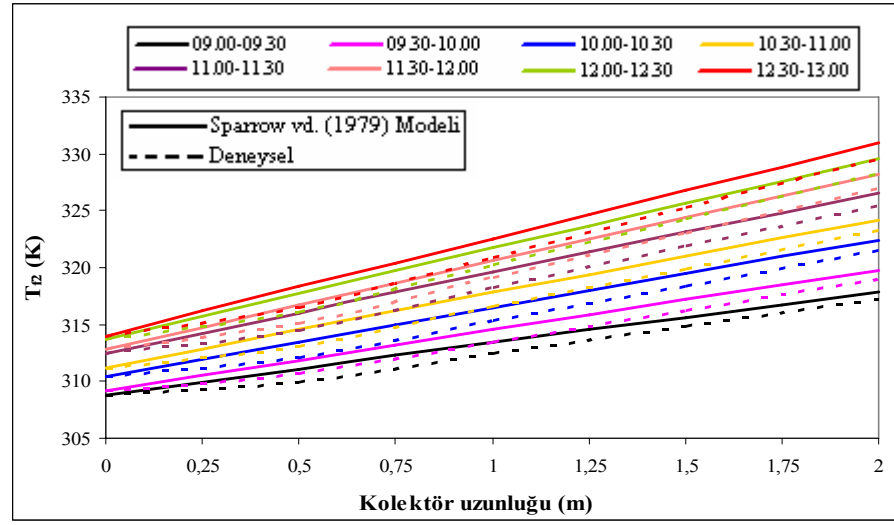
Tarih: 15.07.2008										
Kolektör Alanı:2,4 m ²				Akışkan debisi: 0,048 kg/sm ²						
Yutucu Yüzey: Seçici yüzey				Üst örtü: Temperli cam						
Kolektör Tipi: Çift hava kanallı				Kolektör Eğimi: 40°						
İzotermal model										
Zaman	T _a (K)	I (W/m ²)	V _w (m/s)	T _{fi} (K)	η _I Liter. Mod.	η _I Den.	Den. Hata ±	η _{II} Liter. Mod.	η _{II} Den.	Den. Hata ±
09.00 - 09.30	304	549,01	1,23	308,75	0,838	0,773	0,00175	0,074	0,05439	0,007
09.30 - 10.00	305	637,25	1,22	309,14	0,855	0,788	0,00188	0,0830	0,06306	0,007
10.00 - 10.30	305,78	715,68	1,15	310,42	0,86	0,793	0,00195	0,0923	0,07199	0,007
10.30 - 11.00	306,01	774,5	1,18	311,2	0,86	0,795	0,002	0,0992	0,07905	0,007
11.00 - 11.30	307,04	843,13	1,21	312,38	0,864	0,797	0,00204	0,1062	0,08565	0,007
11.30 - 12.00	308,29	911,76	0,97	312,79	0,875	0,807	0,00212	0,1122	0,09128	0,006
12.00 - 12.30	308,69	940,58	0,87	313,67	0,875	0,809	0,00216	0,1157	0,09489	0,006
12.30 - 13.00	309	1000	0,65	314	0,882	0,813	0,00221	0,1221	0,10078	0,006
13.00 - 13.30	309,12	1000	0,74	313,42	0,883	0,817	0,00223	0,1209	0,09981	0,006
13.30 - 14.00	309,42	980,39	0,49	313,32	0,889	0,822	0,00225	0,1190	0,09798	0,006
14.00 - 14.30	309,76	960,78	1,31	313,16	0,88	0,813	0,00216	0,1147	0,09371	0,006
14.30 - 15.00	309,11	921,56	1,27	313,01	0,874	0,806	0,00211	0,1114	0,09053	0,006
15.00 - 15.30	308,79	843,13	1,19	312,76	0,872	0,804	0,00206	0,1039	0,08322	0,007
15.30 - 16.00	308,04	784,31	1,12	312,74	0,866	0,798	0,002	0,0991	0,07869	0,007
16.00 - 16.30	307,61	627,45	1,68	312,07	0,848	0,782	0,00181	0,0811	0,06114	0,007
16.30 - 17.00	307	509,8	1,63	311,88	0,829	0,765	0,00166	0,0684	0,04915	0,007
Nonizotermal model										
Zaman	η _I Liter. Mod.	η _I Den.	Den. Hata ±	η _{II} Liter. Mod.	η _{II} Den.	Den. Hata ±	η _{II} Liter. Mod.	η _{II} Den.	Den. Hata ±	
				Metot I			Metot II			
09.00 - 09.30	0,721	0,656	0,0035591	0,021	0,0187	0,003892	0,021	0,0190	0,0034175	
09.30 - 10.00	0,737	0,671	0,0033575	0,022	0,0192	0,003774	0,022	0,0196	0,003261	
10.00 - 10.30	0,742	0,676	0,003196	0,025	0,0217	0,003651	0,025	0,0221	0,0031161	
10.30 - 11.00	0,743	0,678	0,0030977	0,027	0,0239	0,003573	0,027	0,0243	0,0030245	
11.00 - 11.30	0,746	0,68	0,0029983	0,029	0,0253	0,003495	0,029	0,0257	0,0029352	
11.30 - 12.00	0,758	0,69	0,002956	0,029	0,0250	0,003488	0,029	0,0254	0,002911	
12.00 - 12.30	0,758	0,692	0,0029284	0,030	0,0265	0,003464	0,031	0,0270	0,002882	
12.30 - 13.00	0,764	0,696	0,0028862	0,032	0,0277	0,003436	0,032	0,0282	0,0028448	
13.00 - 13.30	0,766	0,699	0,002903	0,030	0,0264	0,003463	0,031	0,0269	0,0028685	
13.30 - 14.00	0,772	0,705	0,0029427	0,029	0,0255	0,003508	0,030	0,0259	0,0029112	
14.00 - 14.30	0,763	0,696	0,002926	0,027	0,0235	0,003483	0,027	0,0239	0,002897	
14.30 - 15.00	0,757	0,689	0,0029401	0,027	0,0237	0,003478	0,028	0,0241	0,002902	
15.00 - 15.30	0,755	0,687	0,003026	0,026	0,0225	0,003542	0,026	0,0230	0,0029781	
15.30 - 16.00	0,748	0,681	0,0030852	0,026	0,0230	0,003569	0,027	0,0234	0,0030201	
16.00 - 16.30	0,73	0,665	0,0033389	0,022	0,0194	0,003735	0,022	0,0197	0,003235	
16.30 - 17.00	0,711	0,647	0,0036601	0,020	0,0179	0,003943	0,020	0,0182	0,0034954	



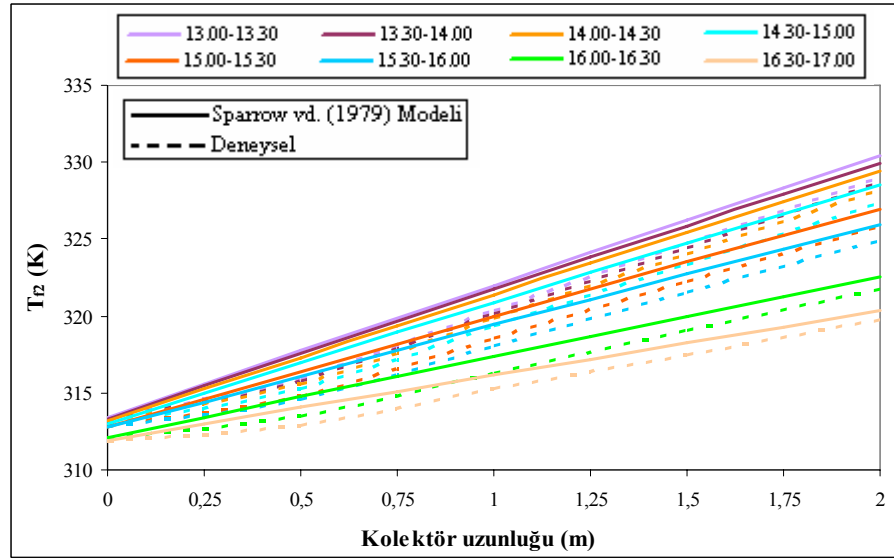
Şekil 7.73. Deney No:7 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)



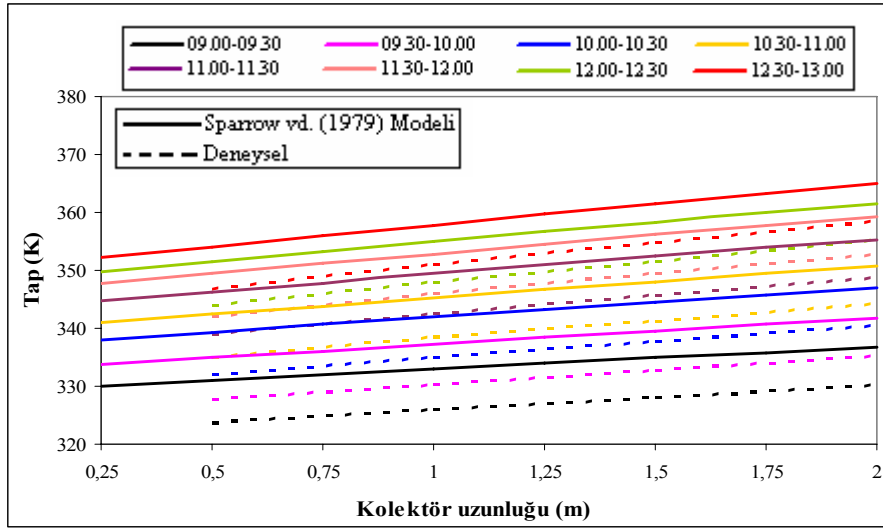
Şekil 7.74. Deney No:7 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



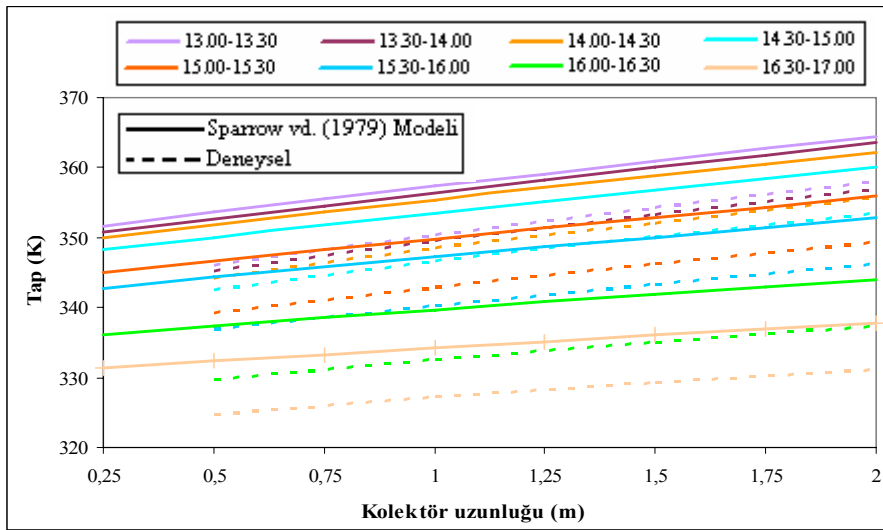
Şekil 7.75. Deney No:7 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)



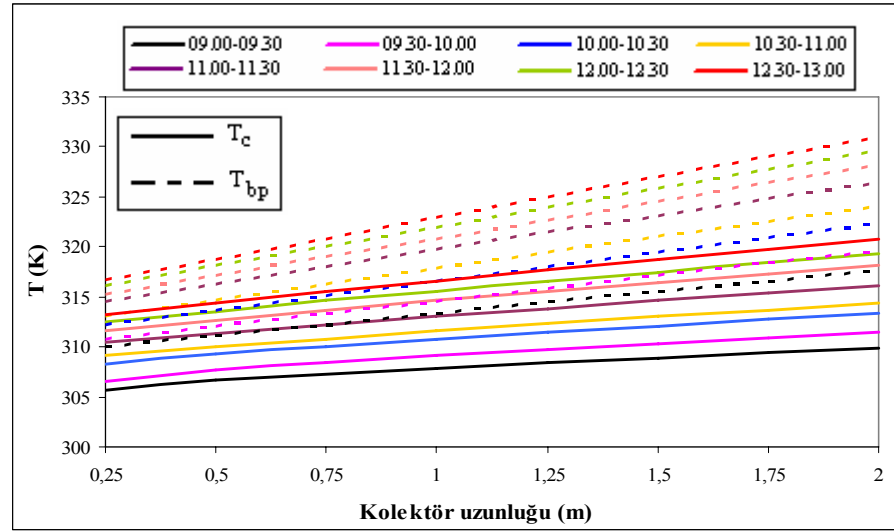
Şekil 7.76. Deney No:7 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



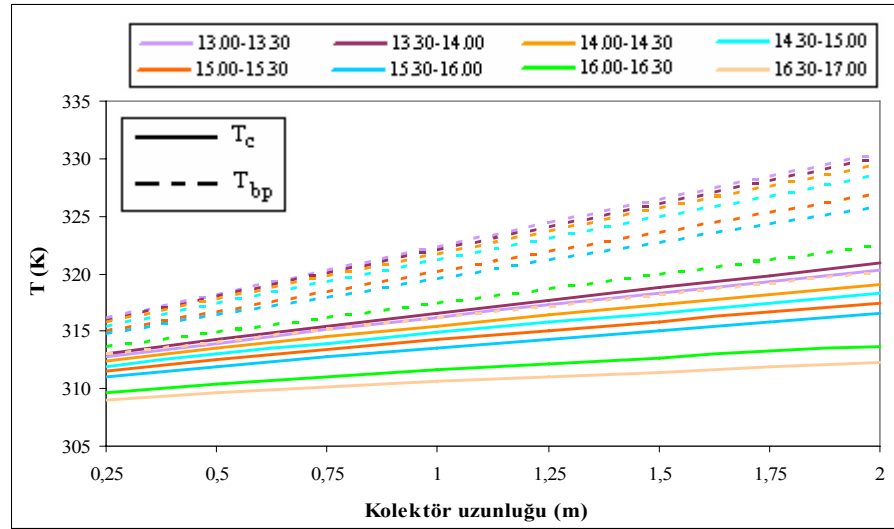
Şekil 7.77. Deney No:7 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)



Şekil 7.78. Deney No:7 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



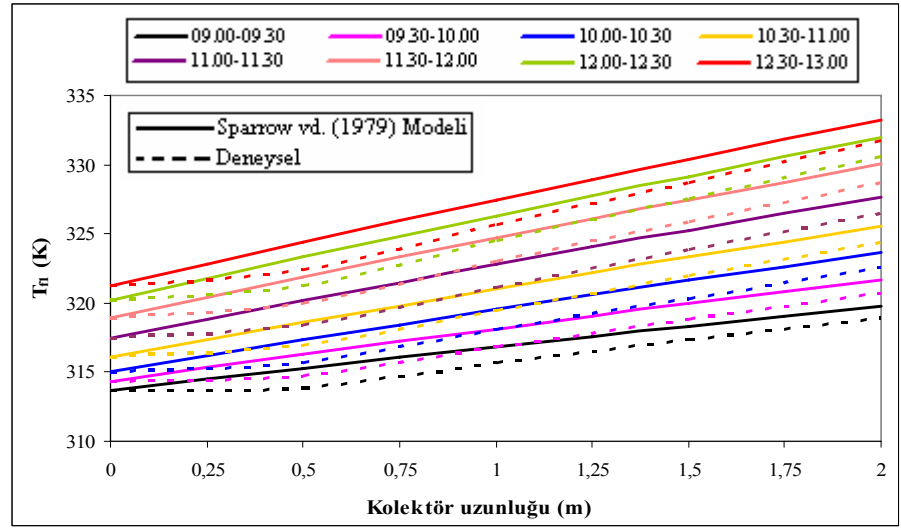
Şekil 7.79. Deney No:7 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)



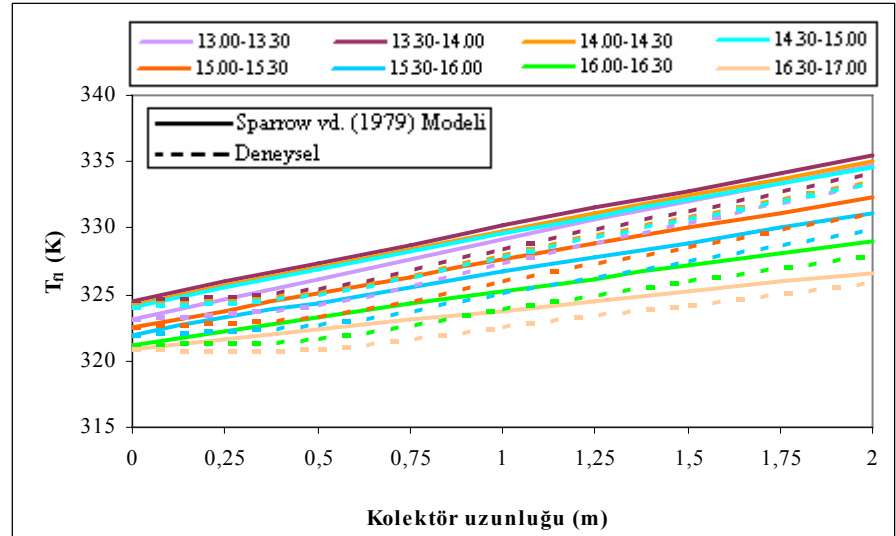
Şekil 7.80. Deney No:7 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)

Çizelge 7.11. Deney No:8 sonuçları

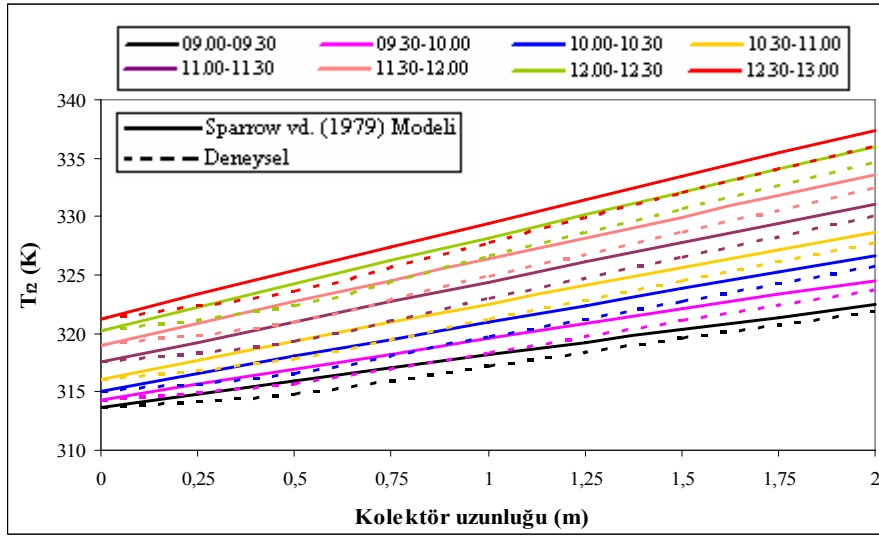
Tarih: 17.07.2008				Akışkan debisi: 0,048 kg/sm ²						
Kolektör Alanı:2,4 m ²				Üst örtü: Temperli cam						
Yutucu Yüzey: Seçici yüzey				Kolektör Eğimi: 40°						
Kolektör Tipi: Çift hava kanallı										
İzotermal model										
Zaman	T _a (K)	I (W/m ²)	V _w (m/s)	T _{fi} (K)	η _I Liter. Mod.	η _I Den.	Den. Hata ±	η _{II} Liter. Mod.	η _{II} Den.	Den. Hata ±
09.00 - 09.30	302,88	549,01	1,21	313,71	0,778	0,716	0,00145	0,0796	0,05994	0,0069
09.30 - 10.00	303,27	637,25	1,19	314,33	0,793	0,728	0,00157	0,0896	0,06919	0,0067
10.00 - 10.30	303,88	705,88	1,34	315,07	0,806	0,741	0,00168	0,0985	0,07759	0,0066
10.30 - 11.00	304,21	764,7	1,27	316,11	0,811	0,747	0,00176	0,1055	0,08451	0,0064
11.00 - 11.30	304,44	823,52	1,19	317,51	0,812	0,749	0,00181	0,1129	0,0917	0,0061
11.30 - 12.00	304,69	882,35	0,92	318,97	0,818	0,751	0,00187	0,121	0,09891	0,0059
12.00 - 12.30	305,22	960,78	1,41	320,17	0,809	0,744	0,00185	0,1269	0,10494	0,0055
12.30 - 13.00	305,54	980,39	1,37	321,26	0,808	0,742	0,00186	0,1294	0,10755	0,0054
13.00 - 13.30	305,68	980,39	1,29	323,12	0,802	0,736	0,00184	0,1311	0,10899	0,0053
13.30 - 14.00	306,18	941,17	1,27	324,49	0,791	0,728	0,00177	0,1275	0,10599	0,0053
14.00 - 14.30	306,91	931,37	1,51	324,18	0,791	0,725	0,00172	0,1247	0,10289	0,0053
14.30 - 15.00	306,41	921,56	1,47	324,07	0,787	0,722	0,00171	0,124	0,10228	0,0053
15.00 - 15.30	306,54	862,74	1,74	322,48	0,786	0,721	0,00165	0,1162	0,0948	0,0056
15.30 - 16.00	306,8	803,92	1,81	322	0,782	0,719	0,0016	0,1095	0,08846	0,0058
16.00 - 16.30	307,28	705,88	1,88	321,21	0,775	0,712	0,0015	0,098	0,07754	0,0061
16.30 – 17.00	307,14	568,62	1,76	320,84	0,748	0,687	0,00129	0,0827	0,06307	0,0063
Nonizotermal model										
Zaman	η _I Liter. Mod.	η _I Den.	Den. Hata ±	η _{II} Liter. Mod.	η _{II} Den.	Den. Hata ±	η _{II} Liter. Mod.	η _{II} Den.	Den. Hata ±	
				Metot I			Metot II			
09.00 - 09.30	0,649	0,588	0,0033013	0,031	0,0281	0,0034951	0,032	0,0286	0,003067	
09.30 - 10.00	0,675	0,611	0,0030891	0,034	0,0303	0,0033647	0,035	0,0309	0,002901	
10.00 - 10.30	0,689	0,624	0,0029684	0,036	0,0323	0,003302	0,037	0,0329	0,00281	
10.30 - 11.00	0,694	0,63	0,0028857	0,039	0,0348	0,0032461	0,040	0,0354	0,002738	
11.00 - 11.30	0,695	0,632	0,002801	0,042	0,0380	0,0031757	0,043	0,0387	0,002657	
11.30 - 12.00	0,701	0,634	0,0027294	0,046	0,0412	0,0031147	0,047	0,0419	0,002587	
12.00 - 12.30	0,692	0,627	0,0026165	0,048	0,0428	0,0030113	0,049	0,0435	0,002481	
12.30 - 13.00	0,691	0,625	0,0025868	0,050	0,0443	0,0029784	0,051	0,0451	0,002448	
13.00 - 13.30	0,684	0,619	0,0025528	0,053	0,0469	0,0029254	0,054	0,0477	0,002401	
13.30 - 14.00	0,674	0,611	0,0025493	0,053	0,0472	0,0028976	0,054	0,0480	0,002386	
14.00 - 14.30	0,674	0,608	0,0025482	0,051	0,0448	0,0028987	0,051	0,0456	0,002392	
14.30 - 15.00	0,67	0,605	0,002547	0,051	0,0452	0,0028894	0,052	0,0460	0,002385	
15.00 - 15.30	0,668	0,603	0,0026126	0,046	0,0413	0,0029488	0,047	0,0420	0,002453	
15.30 - 16.00	0,665	0,601	0,0026815	0,044	0,0391	0,0029999	0,045	0,0398	0,002515	
16.00 - 16.30	0,658	0,595	0,0028164	0,039	0,0351	0,0030925	0,040	0,0358	0,002631	
16.30 – 17.00	0,63	0,57	0,0030436	0,035	0,0316	0,0032003	0,036	0,0321	0,002792	



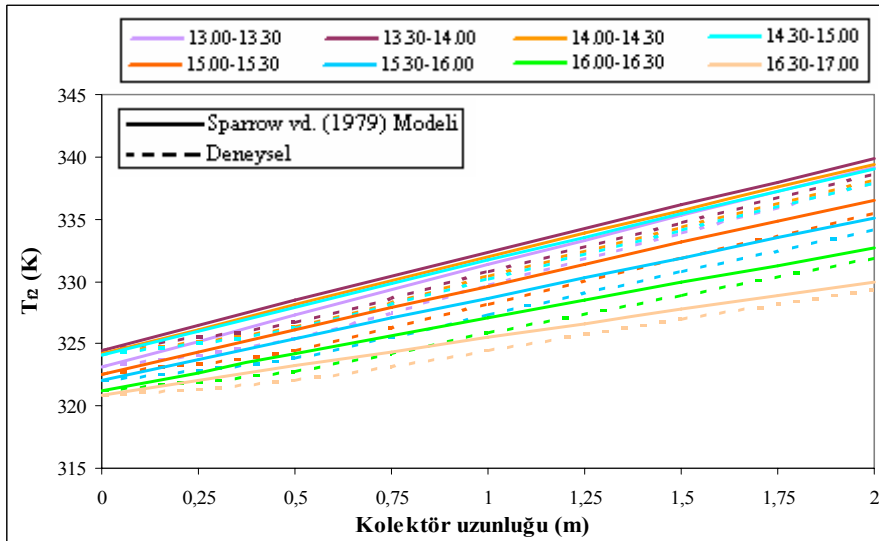
Şekil 7.81. Deney No:8 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)



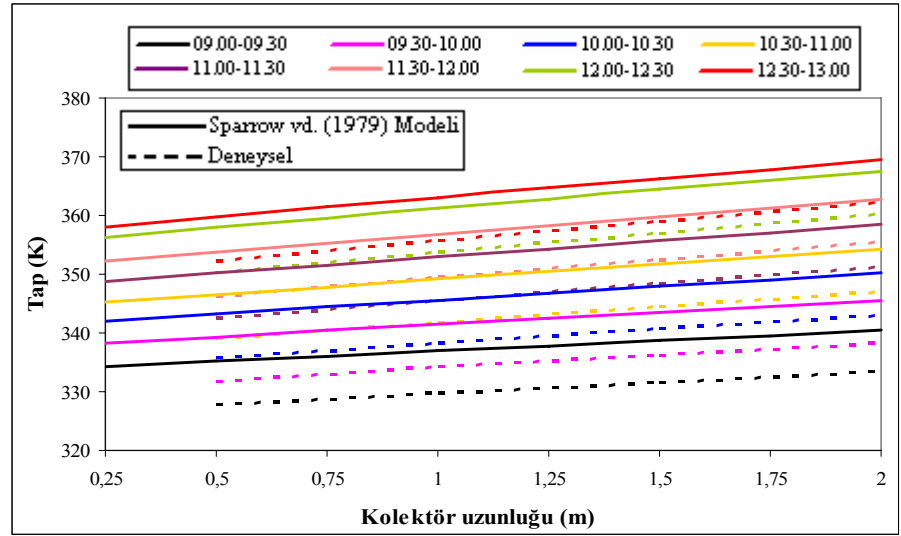
Şekil 7.82. Deney No:8 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



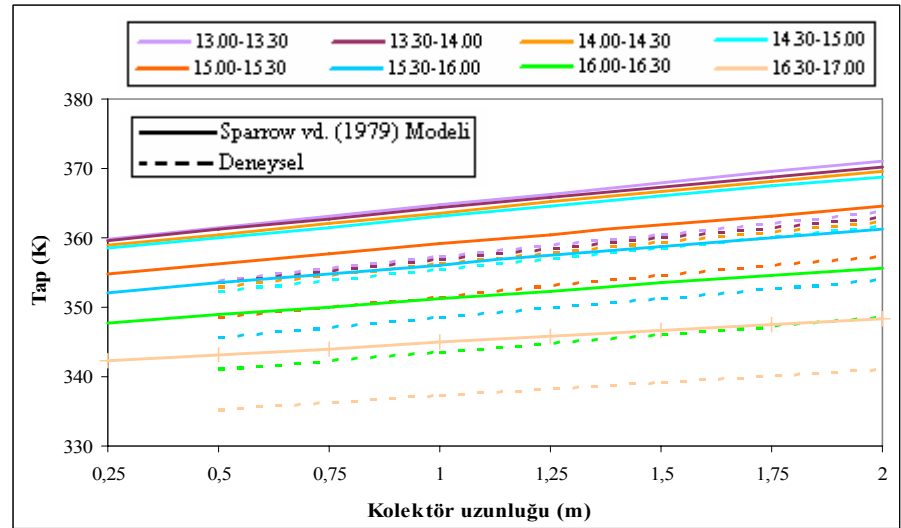
Şekil 7.83. Deney No:8 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)



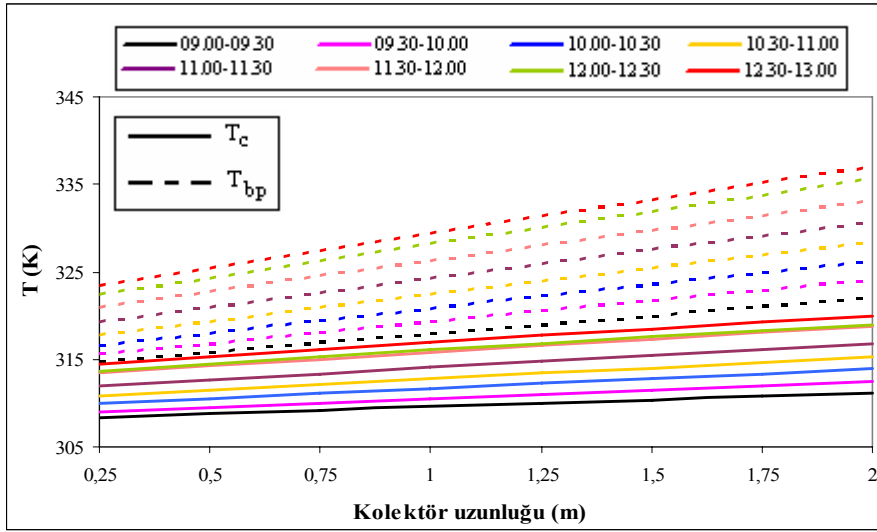
Şekil 7.84. Deney No:8 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



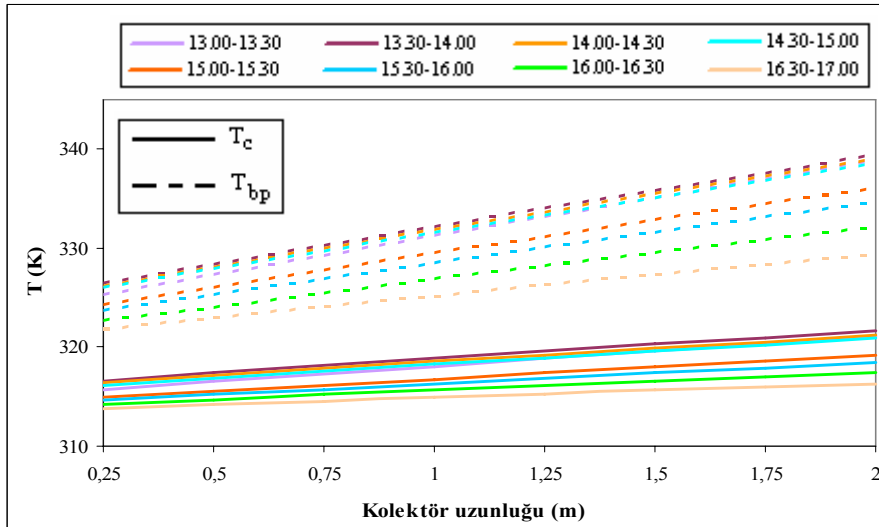
Şekil 7.85. Deney No:8 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)



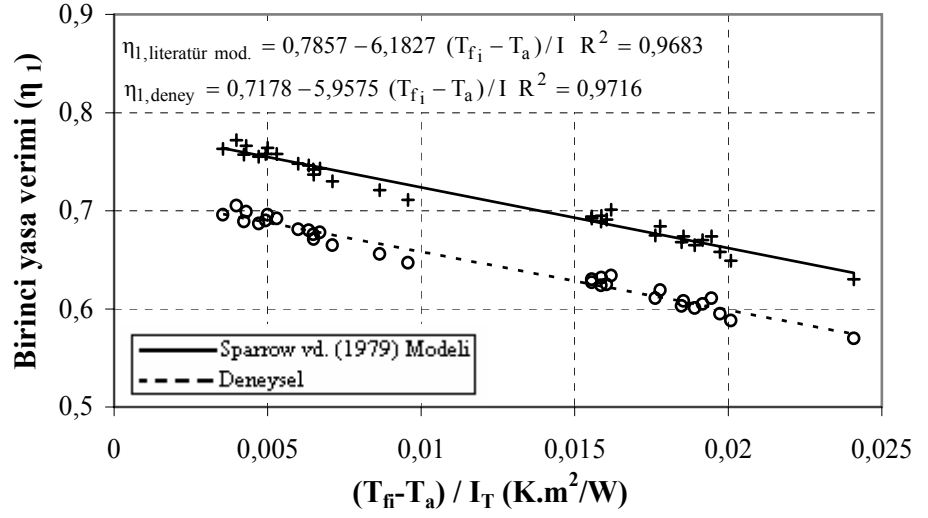
Şekil 7.86. Deney No:8 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



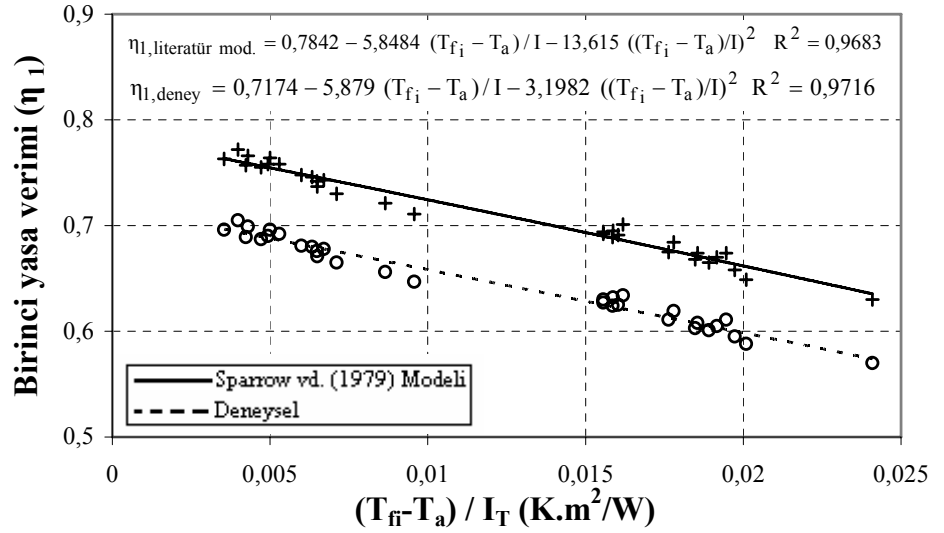
Şekil 7.87. Deney No:8 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)



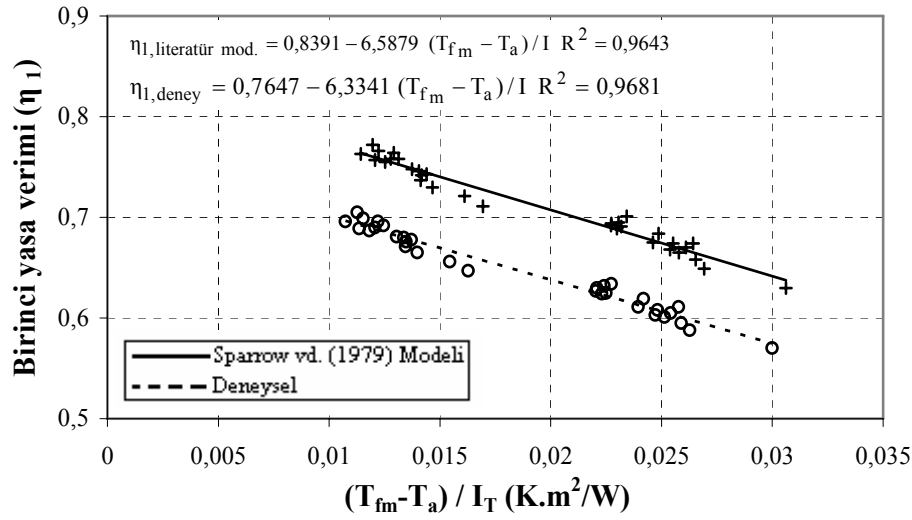
Şekil 7.88. Deney No:8 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



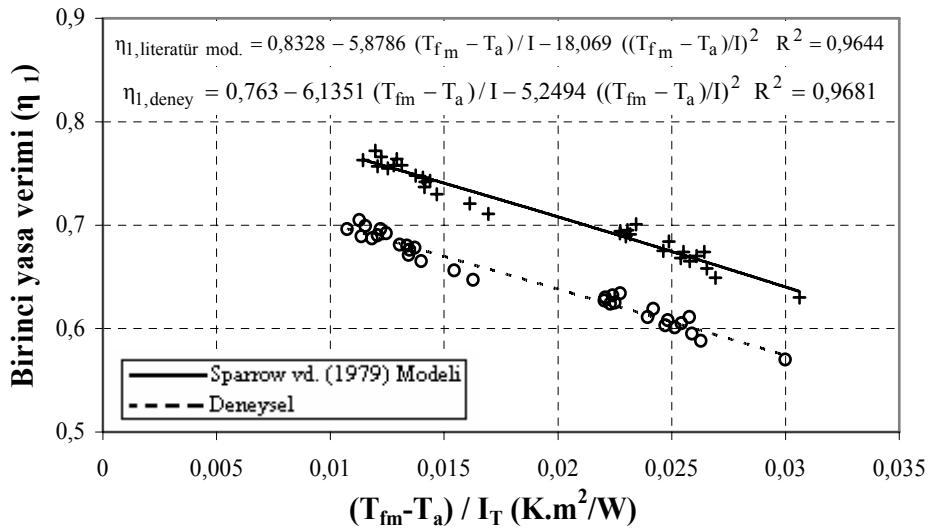
Şekil 7.89. Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:7 ve 8)



Şekil 7.90. Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:7 ve 8)



Şekil 7.91. Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:7 ve 8)



Şekil 7.92. Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:7 ve 8)

7.3.5 Deney No:9 ve 10

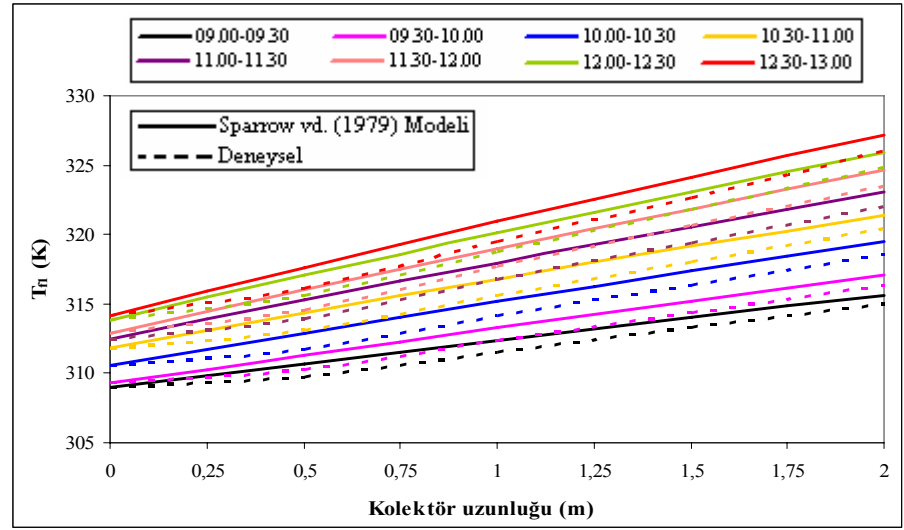
Bu deneylerde kolektörde dolaşan havanın kütleli debisinin $0,055 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda kolektör verim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney No:9'da havanın normal çevre şartlarında kolektöre girmesi sağlanmıştır. Kolektör çalışma parametresini geniş bir aralıkta incelemek amacıyla Deney No:10'da hava kolektöre girmeden önce ön ısıtmaya tabi tutulmuştur. Deneysel olarak ölçülen çevre sıcaklığı, kolektör düzlemine gelen güneş ışınlama şiddeti ve giriş sıcaklıklarına göre deneysel ve literatürden alınan Nusselt sayısına bağlı teorik olarak bulunan izotermal ve nonizotermal enerji, ekserji verimleri ve hata değerleri Çizelge 7.12 ve Çizelge 7.13'de verilmiştir.

Literatürde düzlemsel kolektörler için Sparrow vd. (1979) tarafından verilen denklem 5.78 kullanılarak sonlu farklar metodu ile kolektör boyunca 0,25 m aralıklarla hesaplanan üst ve alt kanaldaki hava, yutucu levha, cam örtü ve alt levha sıcaklıkları; 0,5 m aralıklarla ölçülen üst, alt kanaldaki hava ve yutucu levha üzerindeki sıcaklık değerleri ile karşılaştırılmış ve Şekil 7.93-7.108'de verilmiştir.

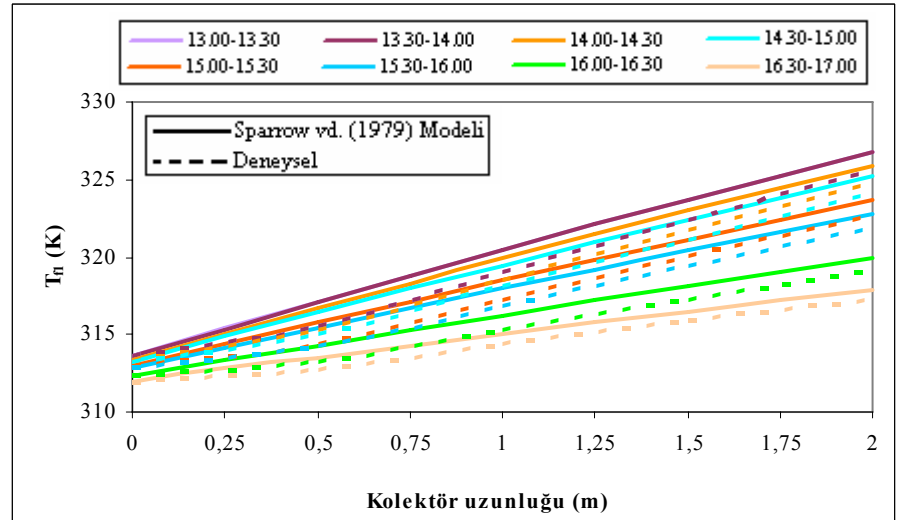
Kolektör verim eğrileri çalışma akışkanının giriş sıcaklığına veya ortalama akışkan sıcaklığına göre oluşturulmaktadır. Çalışma akışkanının kütleli debisinin $0,055 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda literatür modelinden ve deneysel olarak bulunan kolektör veriminin giriş sıcaklığına göre doğrusal ve ikinci derece değişimi sırasıyla Şekil 7.109 ve 7.110, çalışma akışkanının ortalama sıcaklığına göre doğrusal ve ikinci derece değişimi sırasıyla Şekil 7.111 ve 7.112'de gösterilmektedir. Doğrusal ve ikinci dereceden yaklaşımlar şekillerde verilmektedir.

Çizelge 7.12. Deney No:9

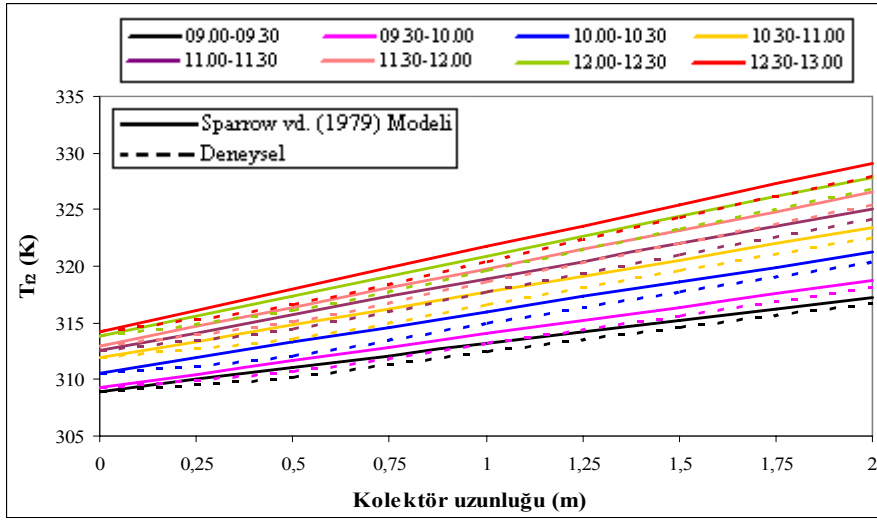
Tarih: 19.07.2008										
Kolektör Alanı:2,4 m ²				Akışkan debisi: 0,055 kg/sm ²						
Yutucu Yüzey: Seçici yüzey				Üst örtü: Temperli cam						
Kolektör Tipi: Çift hava kanallı				Kolektör Eğimi: 40°						
İzotermal model										
Zaman	T _a (K)	I (W/m ²)	V _w (m/s)	T _{fi} (K)	η _i Liter. Mod.	η _i Den.	Den. Hata ±	η _{ii} Liter. Mod.	η _{ii} Den.	Den. Hata ±
09.00 - 09.30	304,25	568,62	1,11	308,95	0,846	0,785	0,00181	0,0723	0,05464	0,0081
09.30 - 10.00	304,91	647,05	1,13	309,26	0,857	0,795	0,0019	0,0799	0,0619	0,0079
10.00 - 10.30	305,64	725,49	1,17	310,57	0,862	0,799	0,00196	0,0889	0,07058	0,0076
10.30 - 11.00	305,97	784,31	1,19	311,88	0,858	0,795	0,00197	0,0958	0,07738	0,0073
11.00 - 11.30	307	852,94	1,24	312,51	0,865	0,803	0,00204	0,1017	0,08312	0,0071
11.30 - 12.00	307,89	921,56	0,89	312,91	0,877	0,812	0,00211	0,1081	0,08896	0,007
12.00 - 12.30	308,34	950,98	0,81	313,84	0,877	0,814	0,00214	0,1115	0,09259	0,0069
12.30 - 13.00	308,91	1009,8	0,71	314,16	0,885	0,821	0,00221	0,117	0,09754	0,0068
13.00 - 13.30	309,21	1009,8	0,65	313,64	0,888	0,824	0,00222	0,1157	0,09634	0,0069
13.30 - 14.00	309,56	1000	0,41	313,59	0,894	0,829	0,00224	0,1147	0,09498	0,007
14.00 - 14.30	309,84	970,58	1,11	313,38	0,885	0,821	0,00216	0,1098	0,0902	0,007
14.30 - 15.00	309,24	931,37	1,09	313,27	0,88	0,816	0,00212	0,1068	0,08705	0,0071
15.00 - 15.30	308,92	852,94	1,27	312,91	0,875	0,812	0,00206	0,099	0,07981	0,0073
15.30 - 16.00	308,21	794,11	1,16	312,86	0,869	0,805	0,002	0,0945	0,07521	0,0074
16.00 - 16.30	307,47	637,25	1,41	312,29	0,853	0,791	0,00185	0,0787	0,06	0,0079
16.30 – 17.00	306,98	519,6	1,51	312	0,832	0,772	0,00169	0,0662	0,04799	0,0081
Nonizotermal model										
Zaman	η _i Liter. Mod.	η _i Den.	Den. Hata ±	η _{ii} Liter. Mod.	η _{ii} Den.	Den. Hata ±	η _{iii} Liter. Mod.	η _{iii} Den.	Den. Hata ±	
				Metot I			Metot II			
09.00 - 09.30	0,729	0,668	0,0034144	0,020	0,0183	0,0037265	0,021	0,0186	0,0032061	
09.30 - 10.00	0,74	0,678	0,0032024	0,021	0,0189	0,0035984	0,022	0,0192	0,0030413	
10.00 - 10.30	0,744	0,682	0,0030212	0,024	0,0214	0,0034675	0,024	0,0217	0,0028851	
10.30 - 11.00	0,741	0,678	0,0028877	0,027	0,0241	0,0033518	0,027	0,0245	0,0027592	
11.00 - 11.30	0,748	0,686	0,0028049	0,027	0,0245	0,0033117	0,028	0,0249	0,002699	
11.30 - 12.00	0,76	0,695	0,0027459	0,028	0,0247	0,0032916	0,028	0,0252	0,0026596	
12.00 - 12.30	0,76	0,697	0,0027147	0,030	0,0263	0,0032671	0,030	0,0268	0,0026296	
12.30 - 13.00	0,768	0,704	0,0026766	0,030	0,0269	0,0032547	0,031	0,0274	0,0026031	
13.00 - 13.30	0,771	0,707	0,0026898	0,028	0,0252	0,0032782	0,029	0,0257	0,0026239	
13.30 - 14.00	0,777	0,712	0,0027167	0,028	0,0244	0,003311	0,028	0,0249	0,0026539	
14.00 - 14.30	0,766	0,704	0,0027197	0,025	0,0224	0,0033011	0,026	0,0228	0,0026561	
14.30 - 15.00	0,763	0,699	0,0027465	0,026	0,0228	0,0033069	0,026	0,0232	0,0026718	
15.00 - 15.30	0,757	0,694	0,0028334	0,024	0,0214	0,0033609	0,025	0,0218	0,0027437	
15.30 - 16.00	0,751	0,688	0,0029036	0,024	0,0218	0,0033925	0,025	0,0222	0,0027925	
16.00 - 16.30	0,736	0,674	0,0031996	0,022	0,0195	0,0035728	0,022	0,0198	0,0030286	
16.30 – 17.00	0,715	0,655	0,0035486	0,019	0,0177	0,0037817	0,020	0,0180	0,0032993	



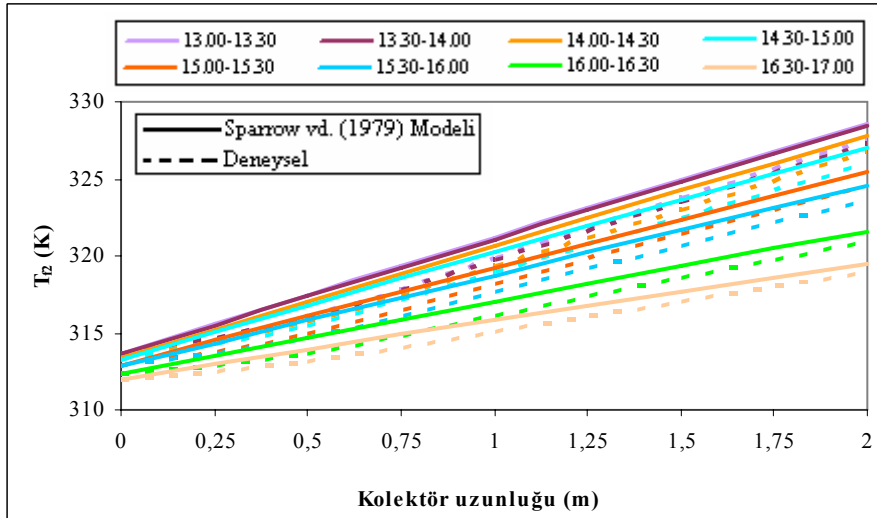
Şekil 7.93. Deney No:9 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)



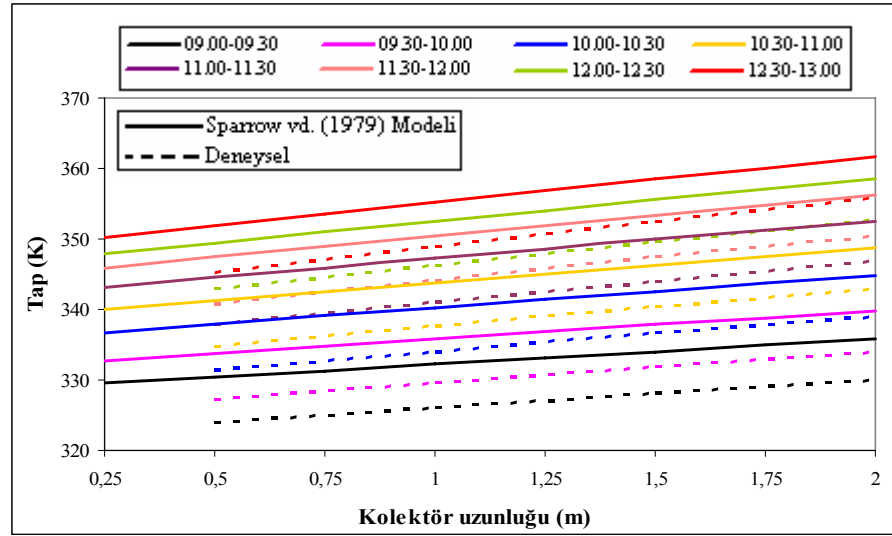
Şekil 7.94. Deney No:9 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



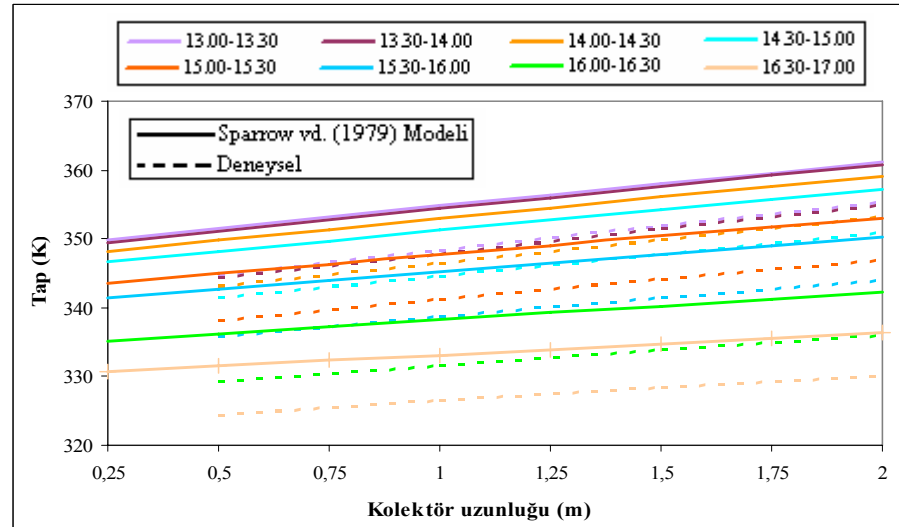
Şekil 7.95. Deney No:9 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)



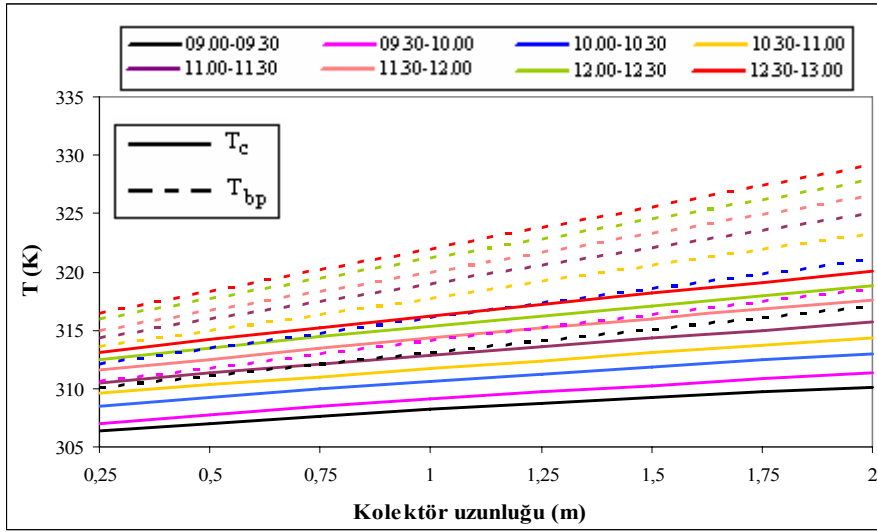
Şekil 7.96. Deney No:9 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



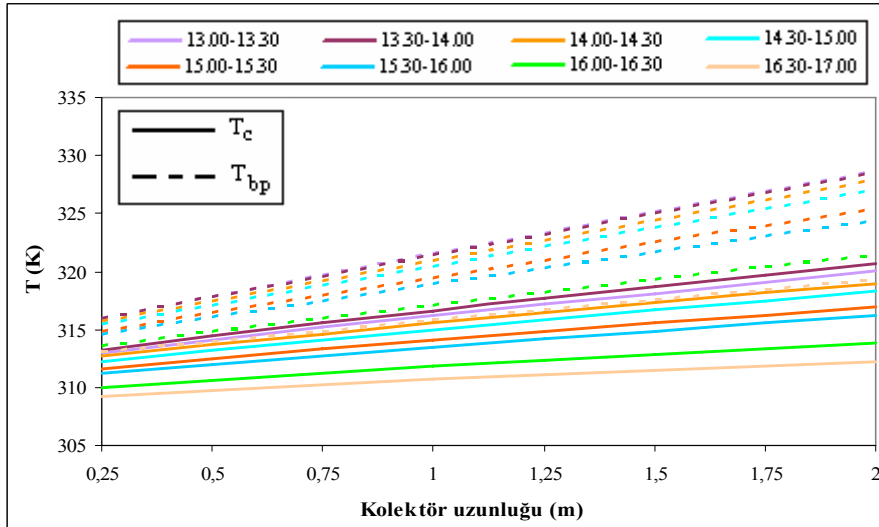
Şekil 7.97. Deney No:9 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)



Şekil 7.98. Deney No:9 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



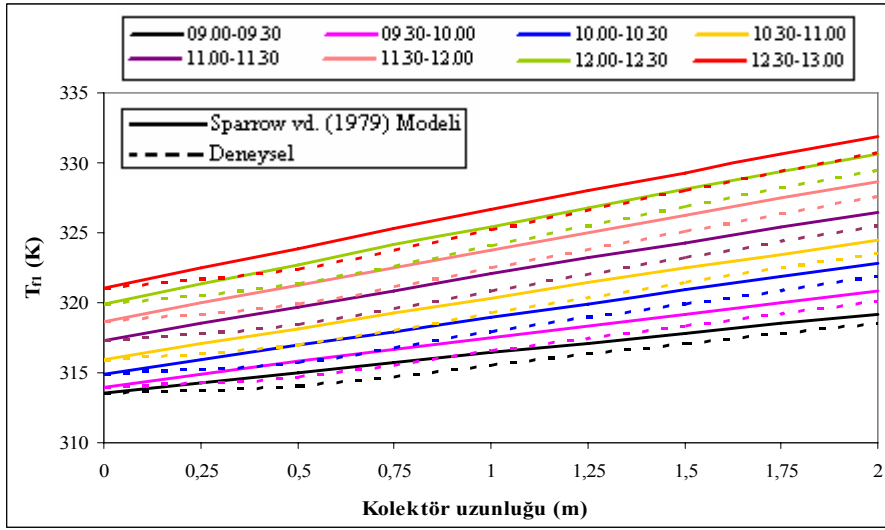
Şekil 7.99. Deney No:9 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)



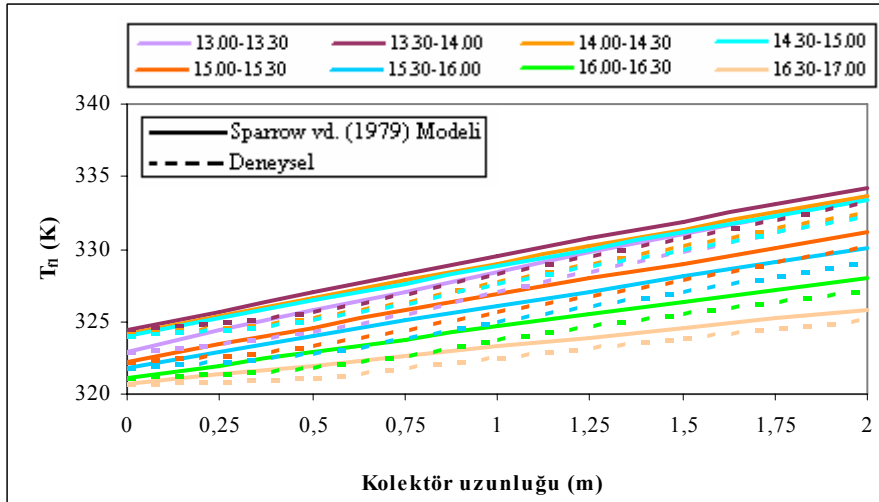
Şekil 7.100. Deney No:9 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)

Çizelge 7.13. Deney No:10 sonuçları

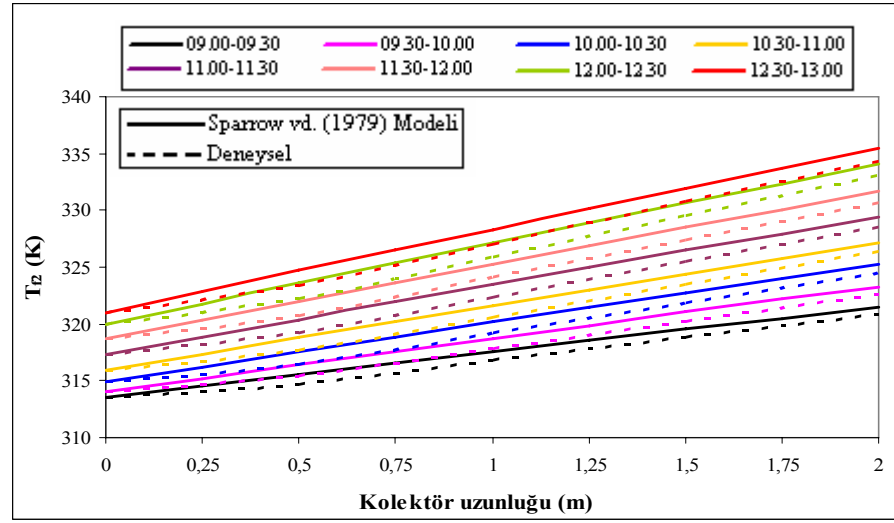
Tarih: 21.07.2008 Kolektör Alanı: 2,4 m² Yutucu Yüzey: Seçici yüzey Kolektör Tipi: Çift hava kanallı										
Akışkan debisi: 0,055 kg/sm² Üst örtü: Temperli cam Kolektör Eğimi: 40°										
İzotermal model										
Zaman	T _a (K)	I (W/m ²)	V _w (m/s)	T _{fi} (K)	η _i Liter. Mod.	η _i Den.	Den. Hata ±	η _{ii} Liter. Mod.	η _{ii} Den.	Den. Hata ±
09.00 - 09.30	302,84	558,82	1,14	313,53	0,789	0,729	0,00152	0,0786	0,06025	0,0071
09.30 - 10.00	303,14	647,05	1,09	314,01	0,807	0,746	0,00166	0,0885	0,06982	0,0069
10.00 - 10.30	303,58	725,49	1,04	314,88	0,816	0,754	0,00174	0,0971	0,07801	0,0067
10.30 - 11.00	304,02	784,31	1,15	315,91	0,817	0,755	0,00177	0,103	0,08386	0,0065
11.00 - 11.30	304,14	843,13	1,01	317,28	0,819	0,757	0,00182	0,1105	0,09125	0,0062
11.30 - 12.00	304,41	901,96	0,87	318,64	0,824	0,761	0,00189	0,1179	0,09862	0,006
12.00 - 12.30	305,05	980,39	1,24	319,94	0,818	0,756	0,00188	0,1241	0,10467	0,0057
12.30 - 13.00	305,21	1000	1,14	321,02	0,817	0,754	0,00188	0,1269	0,10741	0,0055
13.00 - 13.30	305,46	1000	1,12	322,95	0,81	0,748	0,00186	0,1285	0,10896	0,0054
13.30 - 14.00	305,97	950,98	1,09	324,21	0,811	0,753	0,00188	0,1264	0,10729	0,0055
14.00 - 14.30	306,77	941,17	1,45	324,09	0,794	0,735	0,00173	0,1206	0,10155	0,0055
14.30 - 15.00	306,24	931,37	1,41	323,97	0,791	0,734	0,00173	0,1203	0,10151	0,0055
15.00 - 15.30	306,31	882,35	1,67	322,25	0,791	0,732	0,00168	0,1136	0,09473	0,0057
15.30 - 16.00	306,62	823,52	1,71	321,84	0,787	0,728	0,00162	0,107	0,08848	0,0059
16.00 - 16.30	306,94	715,68	1,79	321,05	0,778	0,721	0,00153	0,0953	0,07748	0,0062
16.30 - 17.00	307	578,43	1,72	320,64	0,753	0,696	0,00133	0,0805	0,06316	0,0064
Nonizotermal model										
Zaman	η _i Liter. Mod.	η _i Den.	Den. Hata ±	η _{ii} Liter. Mod.	η _{ii} Den.	Den. Hata ±	η _{ii} Liter. Mod.	η _{ii} Den.	Den. Hata ±	
09.00 - 09.30	0,671	0,612	0,003196	0,031	0,0280	0,0033648	0,032	0,0285	0,0028943	
09.30 - 10.00	0,689	0,629	0,002985	0,034	0,0303	0,0032573	0,034	0,0308	0,0027428	
10.00 - 10.30	0,699	0,637	0,00283	0,036	0,0325	0,0031663	0,037	0,0331	0,0026232	
10.30 - 11.00	0,699	0,638	0,002719	0,038	0,0343	0,0030851	0,039	0,0349	0,0025286	
11.00 - 11.30	0,701	0,64	0,00263	0,042	0,0376	0,0030171	0,043	0,0383	0,0024476	
11.30 - 12.00	0,707	0,644	0,002562	0,045	0,0407	0,0029699	0,046	0,0415	0,0023871	
12.00 - 12.30	0,701	0,639	0,002453	0,047	0,0424	0,0028783	0,048	0,0432	0,0022897	
12.30 - 13.00	0,699	0,637	0,002421	0,049	0,0442	0,0028434	0,050	0,0450	0,0022552	
13.00 - 13.30	0,692	0,631	0,002391	0,052	0,0468	0,0027944	0,053	0,0477	0,0022133	
13.30 - 14.00	0,683	0,624	0,00245	0,053	0,0481	0,0028342	0,054	0,0490	0,0022572	
14.00 - 14.30	0,677	0,618	0,002401	0,049	0,0446	0,0027699	0,050	0,0454	0,0022113	
14.30 - 15.00	0,674	0,617	0,002408	0,050	0,0452	0,0027693	0,051	0,0460	0,0022126	
15.00 - 15.30	0,674	0,615	0,002466	0,046	0,0412	0,0028193	0,047	0,0419	0,0022712	
15.30 - 16.00	0,67	0,611	0,002536	0,043	0,0389	0,0028619	0,044	0,0397	0,0023278	
16.00 - 16.30	0,661	0,604	0,002702	0,039	0,0352	0,0029636	0,040	0,0359	0,0024597	
16.30 - 17.00	0,635	0,579	0,002967	0,035	0,0314	0,0030816	0,035	0,0320	0,0026392	



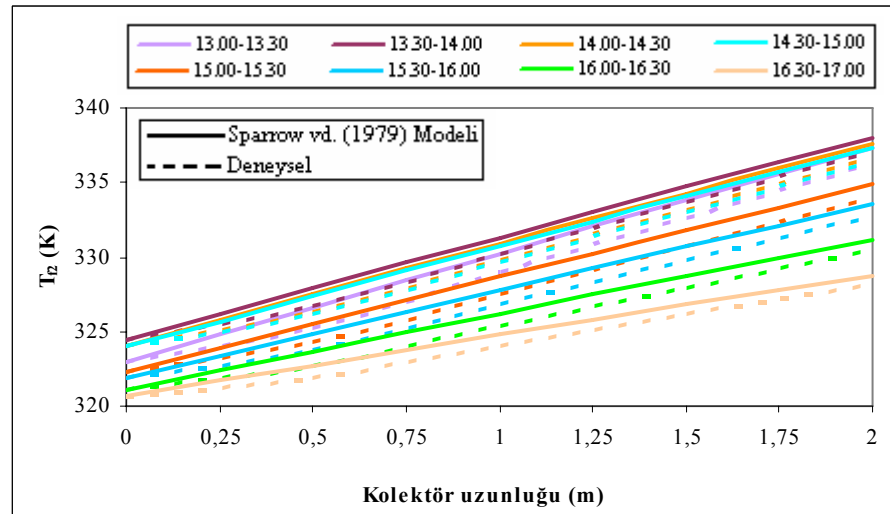
Şekil 7.101. Deney No:10 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)



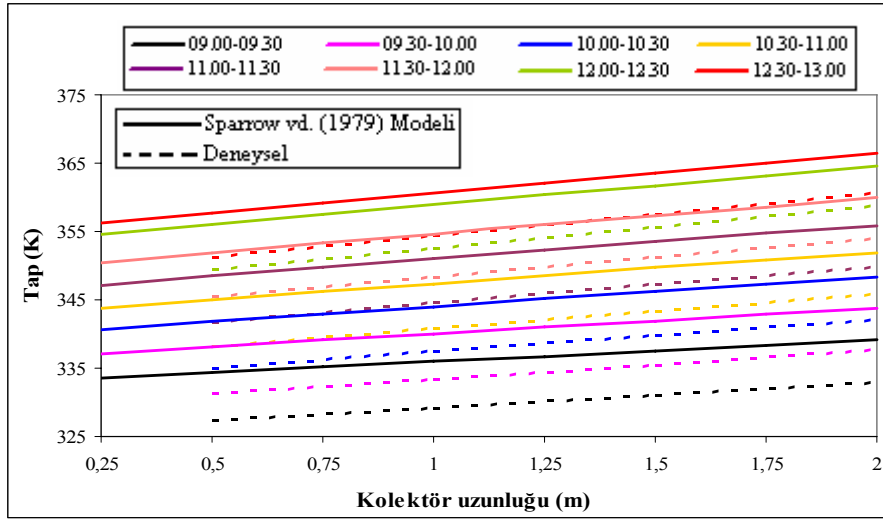
Şekil 7.102. Deney No:10 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



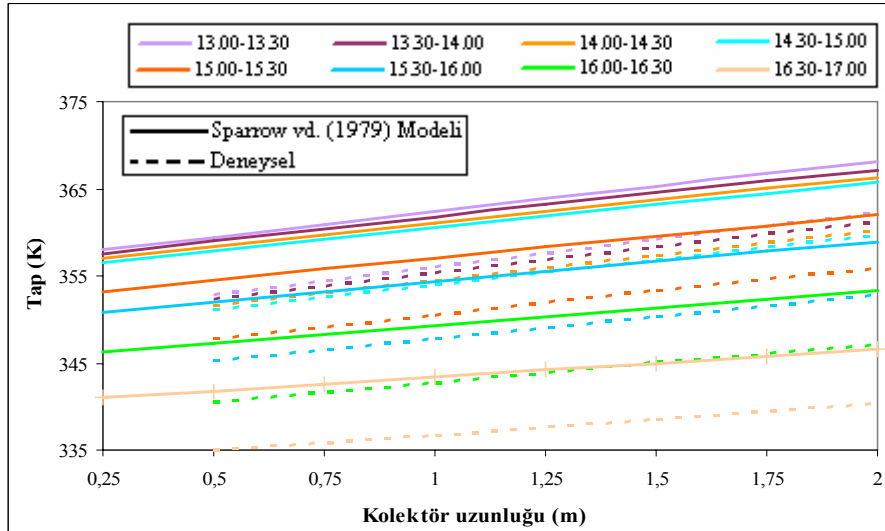
Şekil 7.103. Deney No:10 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)



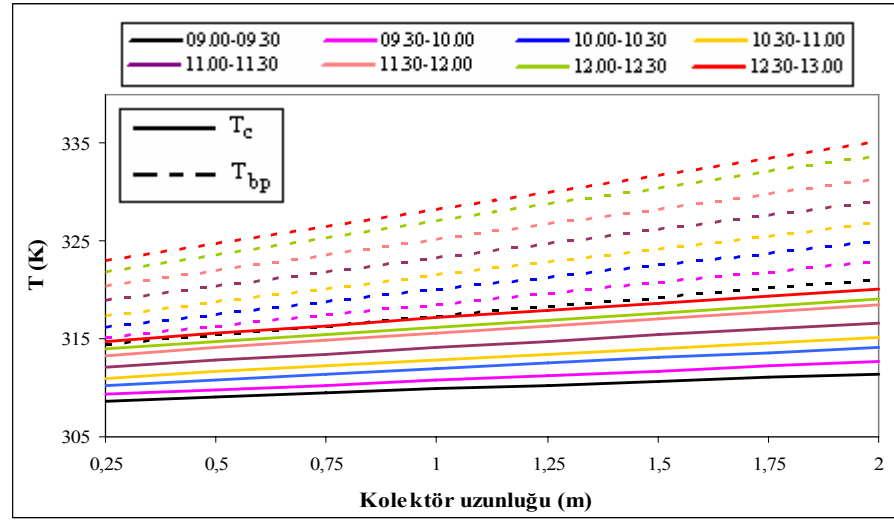
Şekil 7.104. Deney No:10 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



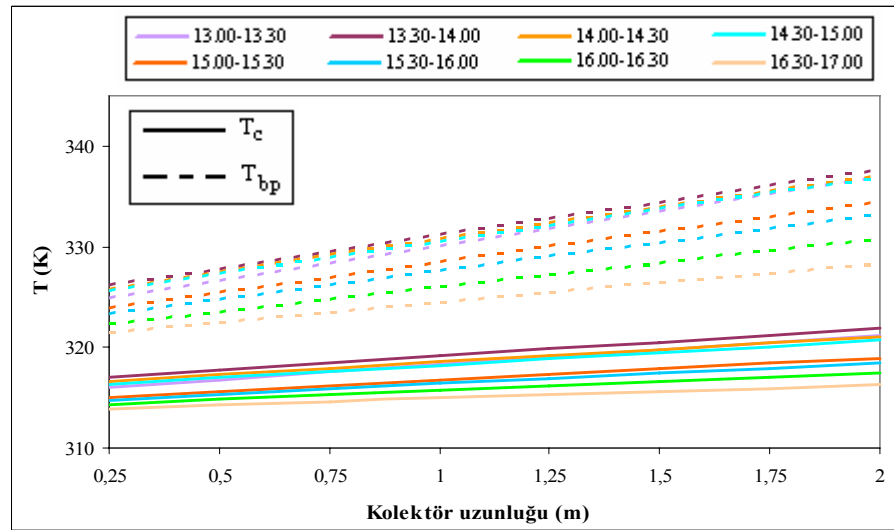
Şekil 7.105. Deney No:10 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)



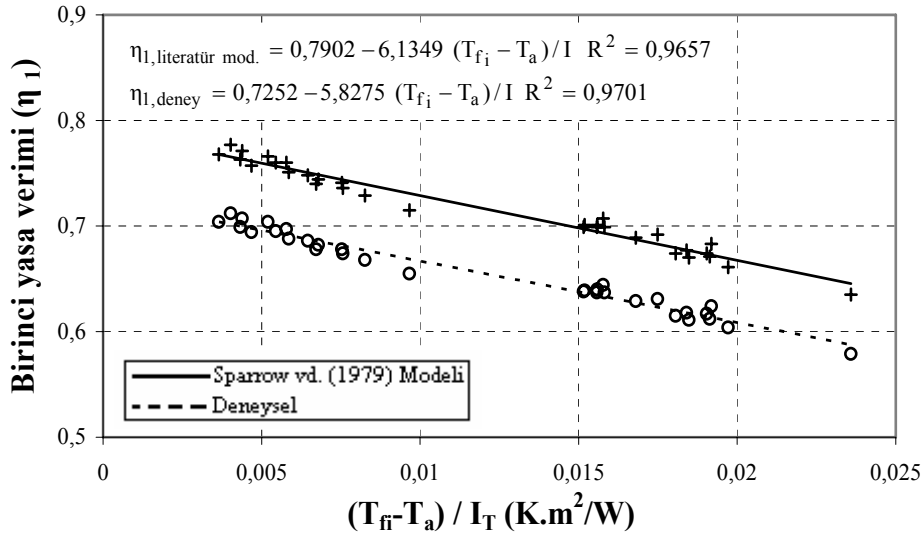
Şekil 7.106. Deney No:10 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



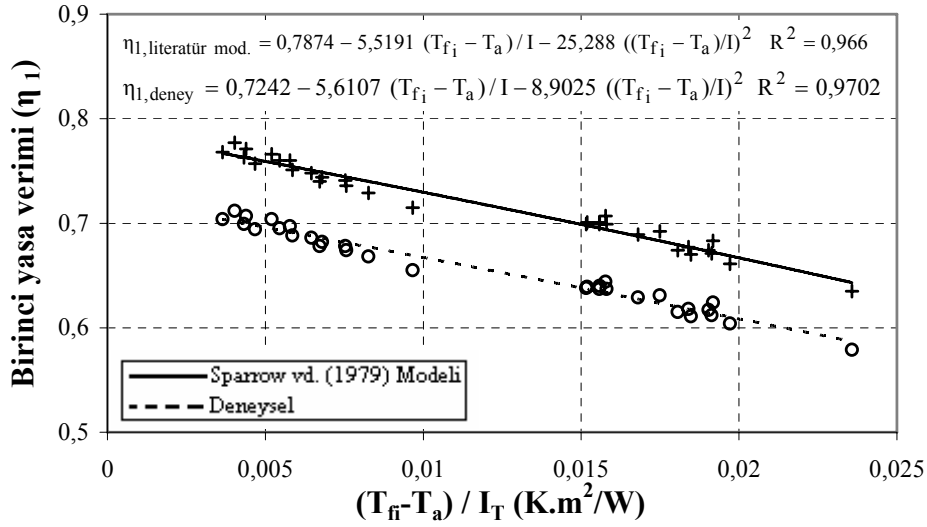
Şekil 7.107. Deney No:10 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 09:00-13:00)



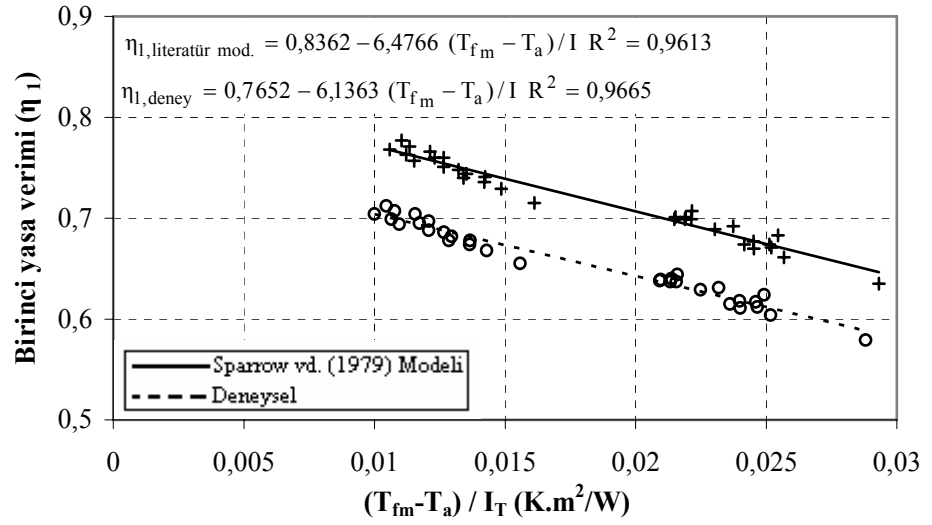
Şekil 7.108. Deney No:10 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



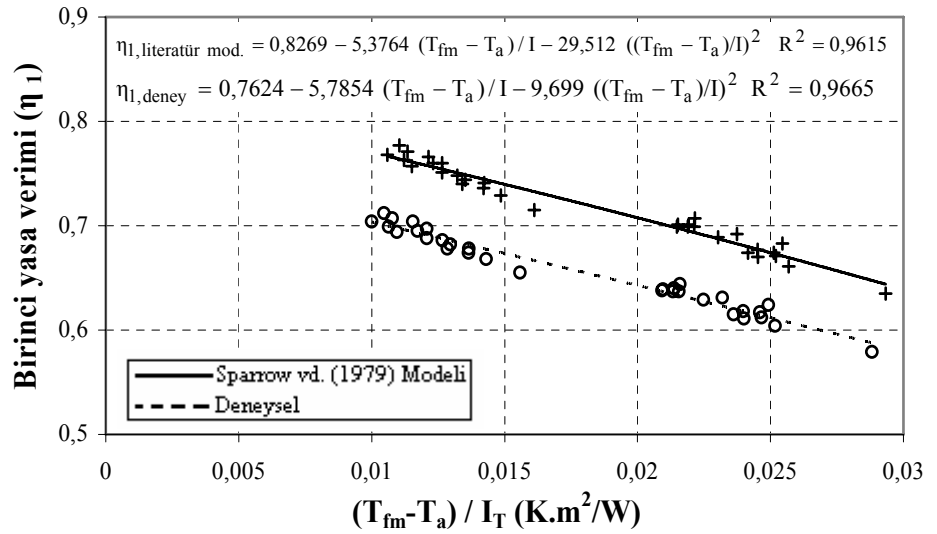
Şekil 7.109. Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:9 ve 10)



Şekil 7.110. Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:9 ve 10)



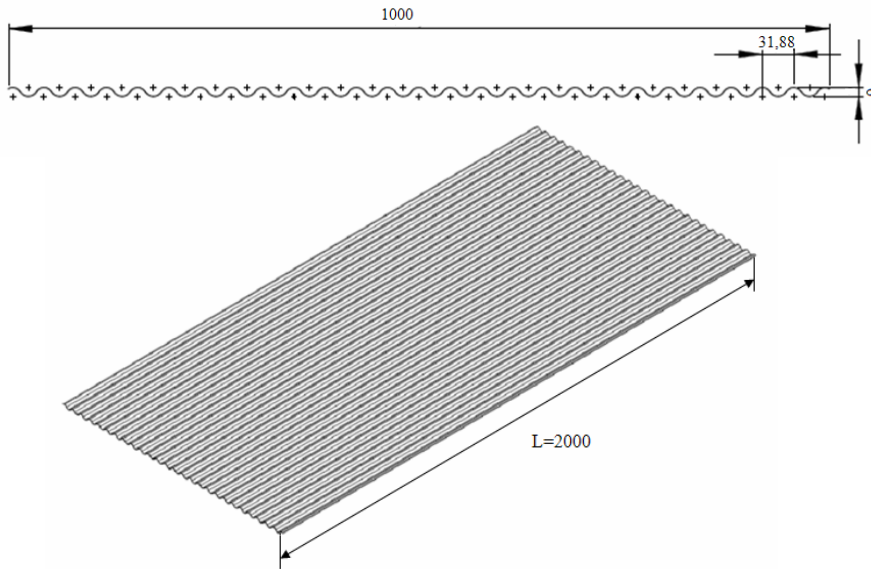
Şekil 7.111. Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:9 ve 10)



Şekil 7.112. Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:9 ve 10)

7.4. Galvaniz Oluk Yüzey Yutucu Levhalı Kolektörün Deneysel ve Teorik Sonuçları

Bu çalışma kapsamında ikinci olarak yutucu yüzeyi siyah mat kolektör boyası ile boyanmış Şekil 7.113’de önden ve üstten görünüşü verilen kıvrımlı galvaniz oluk yutucu yüzeye sahip çift hava kanallı kolektörünün deneyleri yapılmıştır. Geniş çalışma parametre aralığında incelemek amacıyla havaya kolektöre girmeden önce kademeli olarak ön ısıtma uygulanmıştır. Deneyler esnasında alt kanal ve üst kanaldaki hava sıcaklıkları ve yutucu levha üzerindeki hava sıcaklıkları kolektör boyunca 0,5 m aralıklarla dakikada bir ölçülmüştür. (Şekil 7.114 ve 7.115). Deneyler, $0,025 \text{ kg/sm}^2$, $0,033 \text{ kg/sm}^2$, $0,04 \text{ kg/sm}^2$, $0,048 \text{ kg/sm}^2$ ve $0,055 \text{ kg/sm}^2$ olmak üzere beş farklı debi için yapılmıştır.



Şekil 7.113. Kıvrımlı galvaniz oluk yutucu yüzeyin önden ve üstten görünüşü



Şekil 7.114. Kıvrımlı galvaniz oluk yüzeyli kolektörde sıcaklık sensörlerinin yerleşimi



Şekil 7.115. Kıvrımlı galvaniz oluk yüzeyli hava akışkanlı güneş kolektörü test düzeneği

Deneyleerde kolektör boyunca alt, üst kanaldaki hava ve yutucu levha üzerindeki sıcaklıklar ölçülmüştür. Kolektör boyunca cam örtü, yutucu levha, alt levha, alt ve üst kanaldaki hava sıcaklıkları literatürde oluklu yutuculara sahip hava akışkanlı güneş kolektörlerinin Nusselt sayısı için verilen denklem 5.82 kullanılarak sonlu farklar metodu ile 0,25 m aralıklarla sayısal olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, deney sonuçları ile karşılaştırılmış ve grafiksel olarak gösterilmiştir.

Model hesaplamalarında kıvrımlı galvaniz oluk yüzeyli hava akışkanlı güneş kolektörünün özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Çizelge 7.14’de kıvrımlı galvaniz oluk yüzeye sahip güneş kolektörünün teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 7.14. Galvaniz oluk yüzeyli güneş kolektörünün teknik özellikleri

Güneş Kolektörü Bileşenleri	Özellikleri
Kasa	0,4 galvaniz sac veya alüminyum
İzolasyon	40 mm kalınlığında poliüretan $k=0,02$ W/mK
Yutucu levha	1000x2000x3 mm Siyaha boyanmış kıvrımlı mat yüzey $\epsilon_{ap}=0,92$, $\alpha_{ap}=0,95$
Cam örtü	Düşük demir oksitli 1000x2000x4 mm cam $\epsilon_c=0,18$, $\alpha_c=0,01$, $\tau_c=0,81$
Cam fitili	Yekpare kauçuk (sızma önleyici)
Hava giriş kanalı	Alt ve üst kanal 1000x70 mm
Boyutlar	1100x2100x200 mm

Kolektör verim eğrileri akışkan giriş sıcaklığına ve ortalama akışkan sıcaklığına göre birinci ve ikinci derece denklemlerle ifade edilmiştir. Şekil 7.116-7.175’de kolektör boyunca sıcaklık dağılımları ve verim eğrileri grafiksel olarak verilmektedir.

7.4.1 Deney No:11

Bu deneylerde kolektörde dolaşan havanın kütleli debisinin $0,025 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda kolektör verim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kolektör çalışma parametresini geniş bir aralıkta incelemek amacıyla hava kolektöre girmeden önce kademeli olarak ön ısıtmaya tabi tutulmuştur. Deneysel olarak ölçülen çevre sıcaklığı, kolektör düzlemine gelen güneş ışıması şiddeti ve giriş sıcaklıklarına göre deneysel ve literatürden alınan Nusselt sayısına bağlı teorik olarak bulunan izotermal ve nonizotermal enerji, ekserji verimleri ve hata değerleri Çizelge 7.15’de verilmiştir.

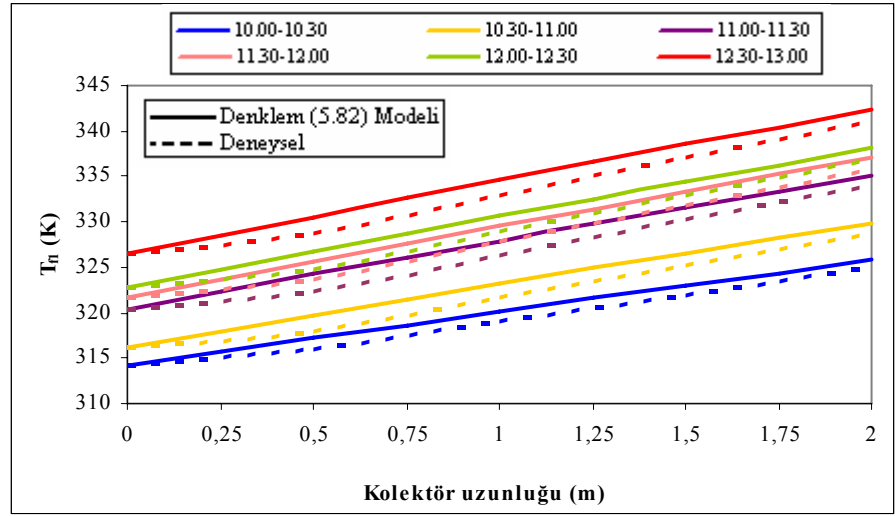
Literatürde oluklu yutucu levhaya sahip kolektörler için denklem 5.82 kullanılarak sonlu farklar metodu ile kolektör boyunca 0,25 m aralıklarla hesaplanan üst ve alt kanaldaki hava, yutucu levha, cam örtü ve alt levha sıcaklıkları; 0,5 m aralıklarla ölçülen üst, alt kanaldaki hava ve yutucu levha üzerindeki sıcaklık değerleri ile karşılaştırılmış ve Şekil 7.116-7.123’de verilmiştir.

Kolektör verim eğrileri çalışma akışkanının giriş sıcaklığına veya ortalama akışkan sıcaklığına göre oluşturulmaktadır. Çalışma akışkanının kütleli debisinin $0,025 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda literatür modelinden ve deneysel olarak hesaplanan kolektör veriminin giriş sıcaklığına göre doğrusal ve ikinci derece değişimi sırasıyla Şekil 7.124 ve 7.125’de,

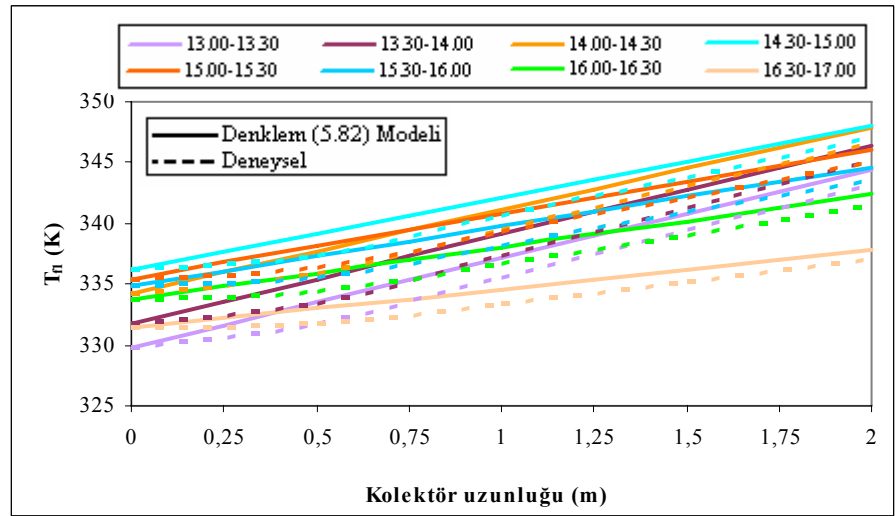
çalışma akışkanının ortalama sıcaklığına göre doğrusal ve ikinci derece değişimi sırasıyla Şekil 7.126 ve 7.127’de gösterilmektedir. Doğrusal ve ikinci dereceden yaklaşımlar şekillerde verilmektedir.

Çizelge 7.15. Deney No:11 sonuçları

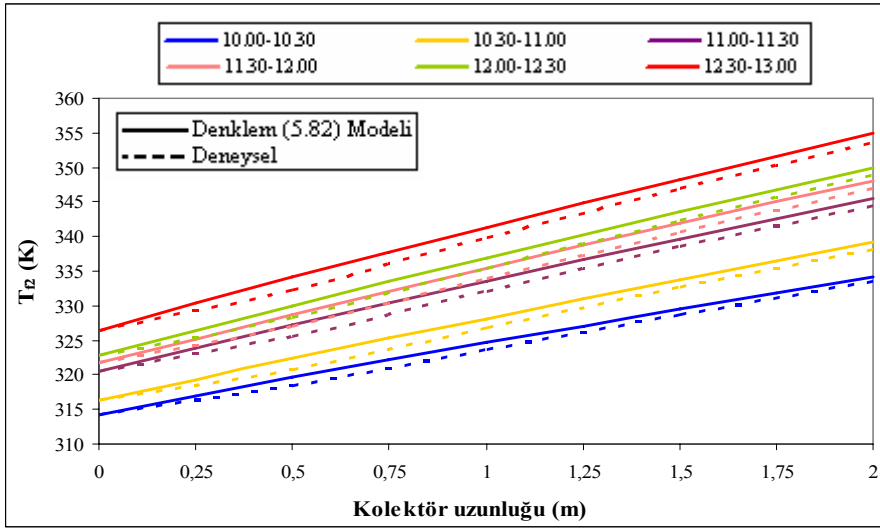
Tarih: 13.08.2008										
Kolektör Alanı: 2 m ²										
Akışkan debisi: 0,025 kg/sm ²										
Yutucu Yüzey: Siyaha boyanmış yüzey										
Üst örtü: Düşük demir oksitli cam										
Kolektör Tipi: Çift hava kanallı										
Kolektör Eğimi: 40°										
İzotermal model										
Zaman	T _a (K)	I (W/m ²)	V _w (m/s)	T _{fi} (K)	η _I Liter. Mod.	η _I Den.	Den. Hata ±	η _{II} Liter. Mod.	η _{II} Den.	Den. Hata ±
10.00 - 10.30	305,65	666,66	0,45	314,29	0,823	0,792	0,00151	0,110	0,103	0,0041
10.30 - 11.00	306,53	764,7	0,28	316,21	0,832	0,798	0,00168	0,124	0,115	0,004
11.00 - 11.30	306,97	843,17	0,2	320,45	0,823	0,791	0,00183	0,136	0,128	0,0037
11.30 - 12.00	307,16	892,15	0,22	321,66	0,822	0,787	0,00189	0,142	0,133	0,0036
12.00 - 12.30	307,69	921,56	0,69	322,74	0,812	0,778	0,00188	0,143	0,134	0,0035
12.30 - 13.00	307,75	970,58	0,39	326,48	0,806	0,772	0,00198	0,152	0,142	0,0034
13.00 - 13.30	307,89	1000	1,18	329,74	0,777	0,748	0,00195	0,152	0,143	0,0031
13.30 - 14.00	307,97	980,39	0,56	331,74	0,780	0,746	0,00194	0,154	0,143	0,0031
14.00 - 14.30	308,13	960,78	0,63	334,26	0,767	0,737	0,00192	0,152	0,143	0,003
14.30 - 15.00	308,07	901,96	0,61	336,16	0,751	0,723	0,00184	0,147	0,139	0,003
15.00 - 15.30	308,58	843,13	0,82	335,44	0,742	0,712	0,00171	0,138	0,130	0,003
15.30 - 16.00	309,77	764,7	0,65	334,89	0,743	0,711	0,00159	0,129	0,120	0,0031
16.00 - 16.30	310,71	686,27	0,68	333,78	0,738	0,708	0,00145	0,118	0,110	0,0032
16.30 - 17.00	310,63	568,62	0,95	331,47	0,716	0,688	0,00126	0,100	0,093	0,0041
Nonizotermal model										
Zaman	η _I Liter. Mod.	η _I Den.	Den. Hata ±	η _{II} Liter. Mod.	η _{II} Den.	Den. Hata ±	η _{II} Liter. Mod.	η _{II} Den.	Den. Hata ±	
				Metot I			Metot II			
10.00 - 10.30	0,593	0,562	0,00486	0,03183	0,02951	0,0050878	0,032	0,03004	0,00484	
10.30 - 11.00	0,602	0,568	0,00480	0,03654	0,03363	0,0050021	0,037	0,03424	0,00475	
11.00 - 11.30	0,593	0,561	0,00462	0,04410	0,04085	0,0047671	0,044	0,04160	0,00452	
11.30 - 12.00	0,591	0,557	0,00455	0,04669	0,04301	0,0046735	0,047	0,04380	0,00442	
12.00 - 12.30	0,581	0,548	0,00444	0,04703	0,04336	0,004561	0,047	0,04416	0,00431	
12.30 - 13.00	0,575	0,542	0,00432	0,0534	0,04929	0,0043903	0,054	0,05020	0,00415	
13.00 - 13.30	0,547	0,518	0,00408	0,05515	0,05144	0,0041152	0,056	0,05238	0,00388	
13.30 - 14.00	0,549	0,516	0,00405	0,05812	0,05370	0,0040654	0,059	0,05469	0,00383	
14.00 - 14.30	0,536	0,507	0,00396	0,05952	0,05549	0,0039491	0,060	0,05651	0,00372	
14.30 - 15.00	0,52	0,493	0,00385	0,05929	0,05550	0,0038313	0,06	0,05652	0,00361	
15.00 - 15.30	0,511	0,482	0,00381	0,05543	0,05158	0,003803	0,056	0,05253	0,00359	
15.30 - 16.00	0,512	0,481	0,00386	0,05181	0,04797	0,0038695	0,052	0,04886	0,00366	
16.00 - 16.30	0,508	0,478	0,00391	0,04708	0,04378	0,0039434	0,047	0,0446	0,00373	
16.30 - 17.00	0,486	0,458	0,00391	0,04002	0,03730	0,0039518	0,04	0,038	0,00376	



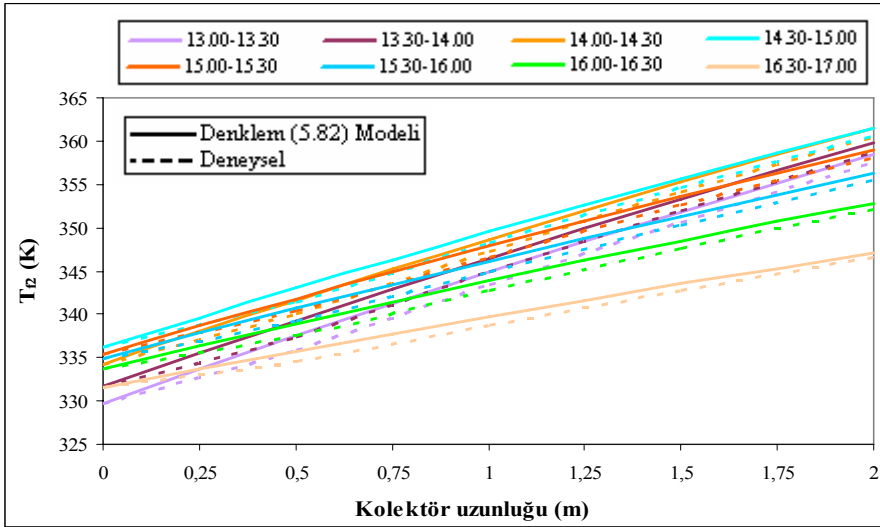
Şekil 7.116. Deney No:11 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)



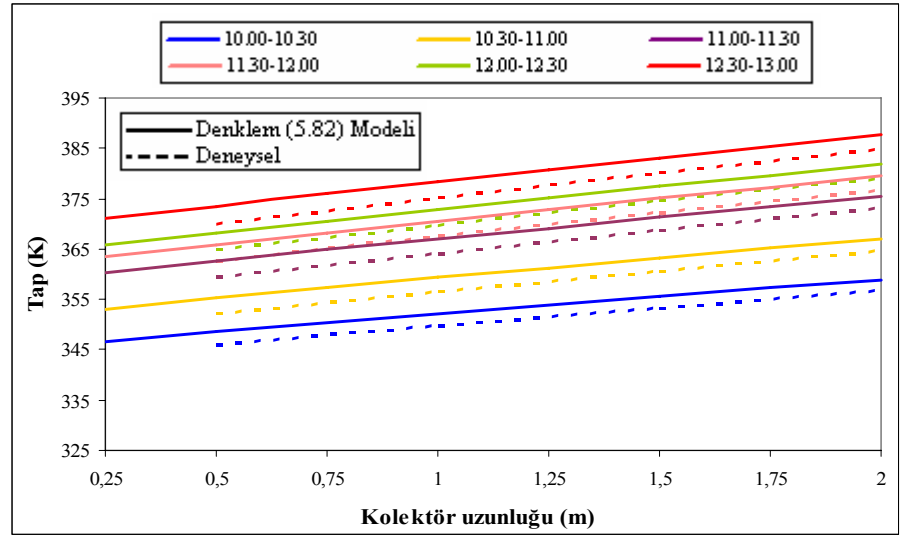
Şekil 7.117. Deney No:11 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



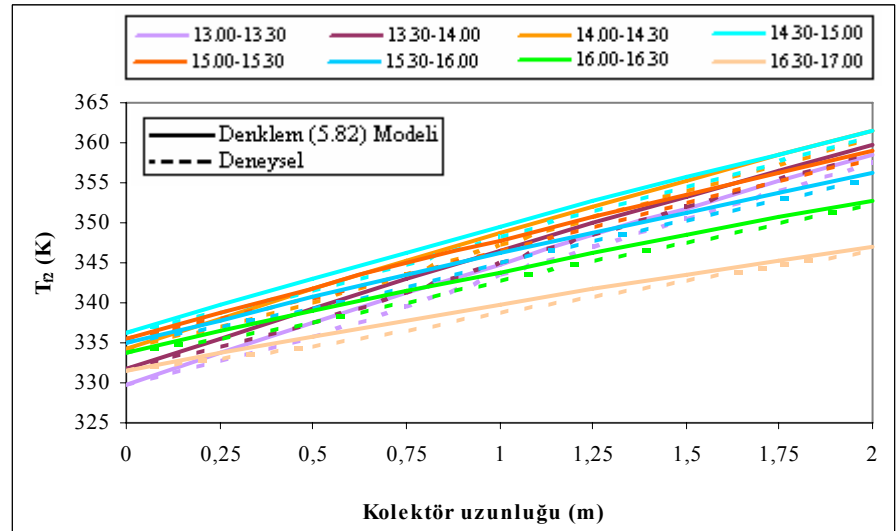
Şekil 7.118. Deney No:11 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)



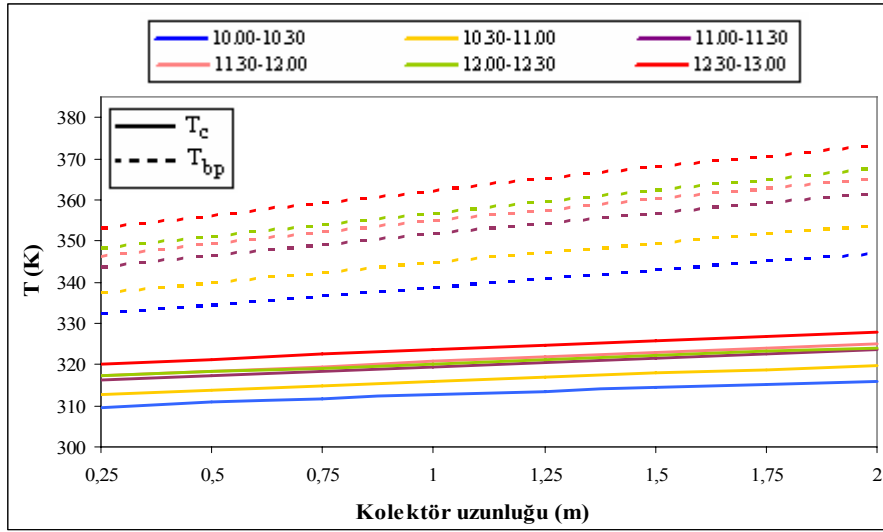
Şekil 7.119. Deney No:11 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



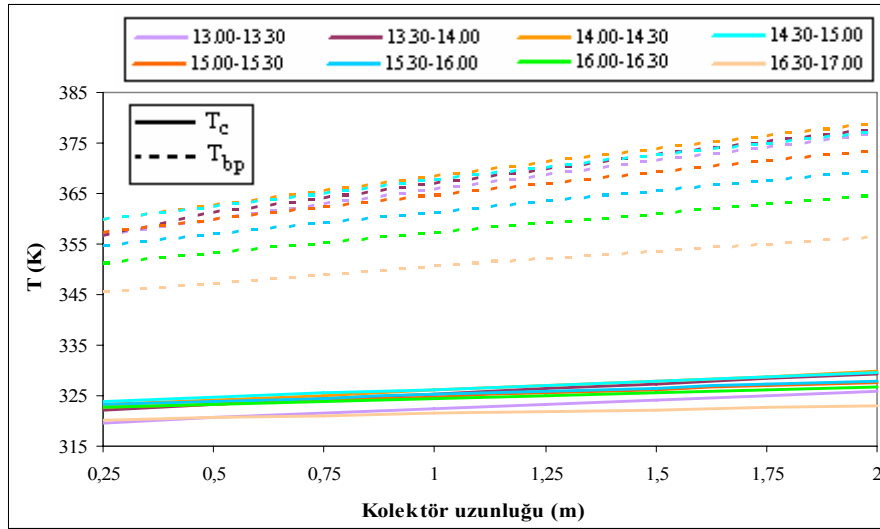
Şekil 7.120. Deney No:11 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)



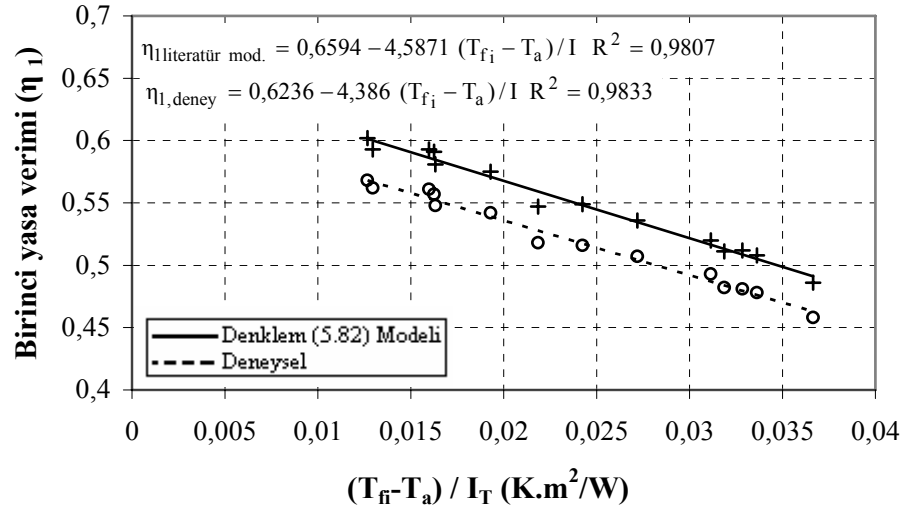
Şekil 7.121. Deney No:11 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



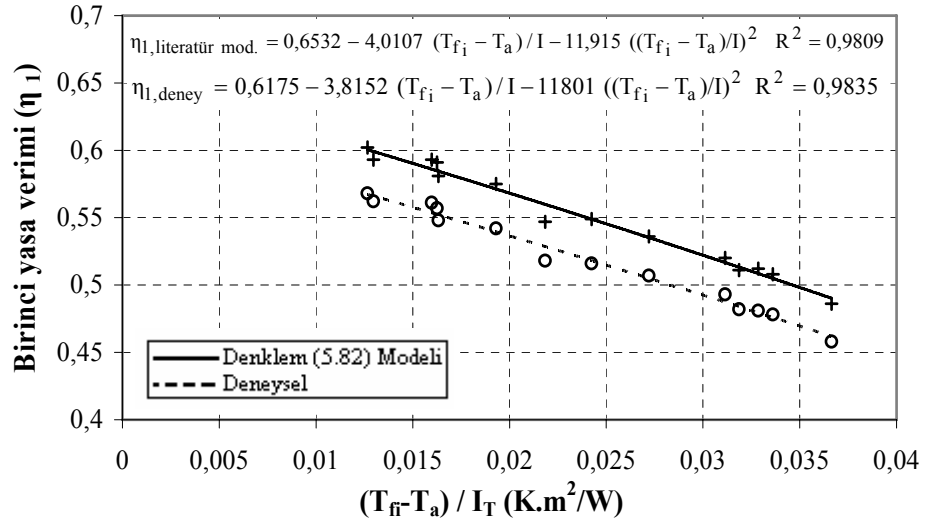
Şekil 7.122. Deney No:11 için cam örtü ve levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)



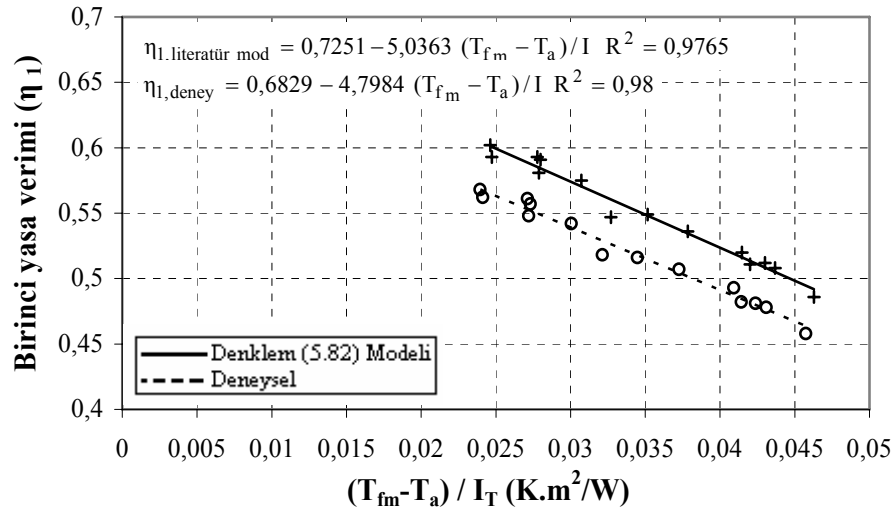
Şekil 7.123. Deney No:11 için cam örtü ve levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



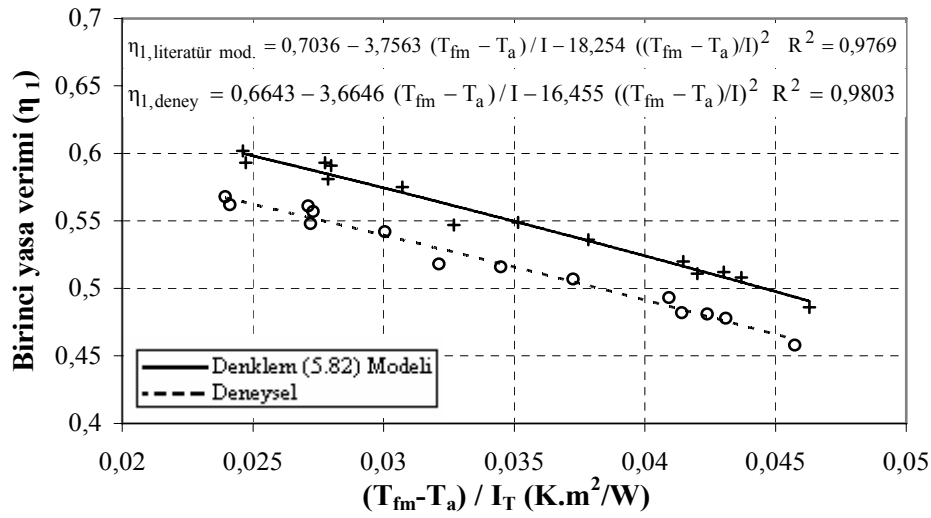
Şekil 7.124. Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:11)



Şekil 7.125. Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:11)



Şekil 7.126. Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:11)



Şekil 7.127. Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:11)

7.4.2 Deney No:12

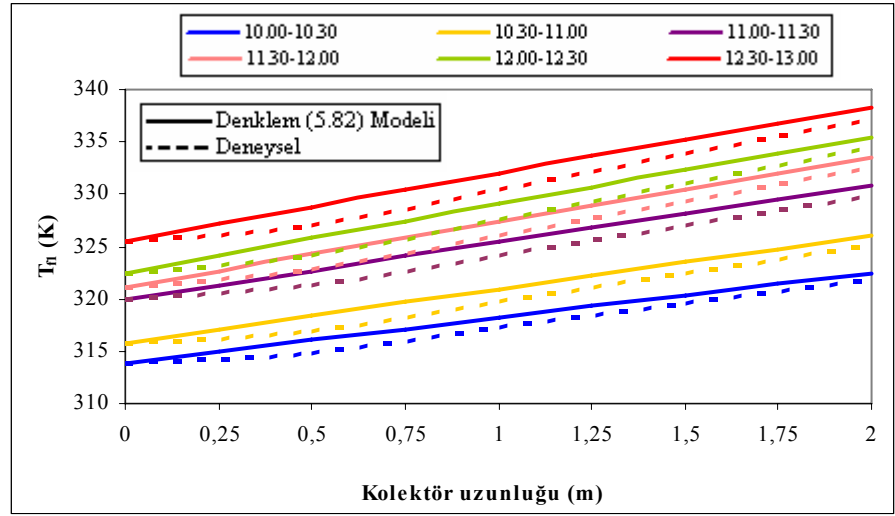
Bu deneylerde kolektörde dolaşan havanın kütleli debisinin $0,033 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda kolektör verim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kolektör çalışma parametresini geniş bir aralıkta incelemek amacıyla hava kolektöre girmeden önce kademeli olarak ön ısıtmaya tabi tutulmuştur. Deneyisel olarak ölçülen çevre sıcaklığı, kolektör düzlemine gelen güneş ışıması şiddeti ve giriş sıcaklıklarına göre deneyisel ve literatürden alınan Nusselt sayısına bağlı teorik olarak bulunan izotermal ve nonizotermal enerji, ekserji verimleri ve hata değerleri Çizelge 7.16’da verilmiştir.

Literatürde oluklu yutucu levhaya sahip kolektörler için verilen denklem 5.82 kullanılarak sonlu farklar metodu ile kolektör boyunca 0,25 m aralıklarla hesaplanan üst ve alt kanaldaki hava, yutucu levha, cam örtü ve alt levha sıcaklıkları; 0,5 m aralıklarla ölçülen üst, alt kanaldaki hava ve yutucu levha üzerindeki sıcaklık değerleri ile karşılaştırılmış ve Şekil 7.128-7.135’de verilmiştir.

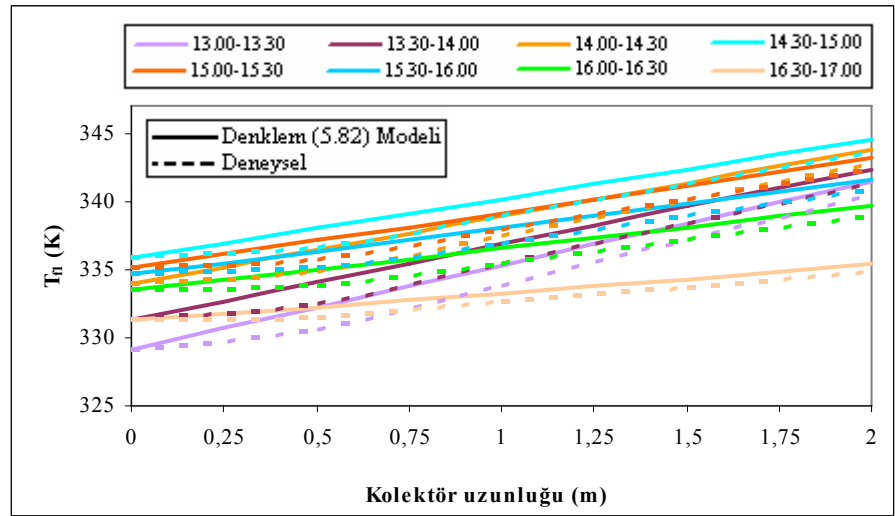
Kolektör verim eğrileri çalışma akışkanının giriş sıcaklığına veya ortalama akışkan sıcaklığına göre oluşturulmaktadır. Çalışma akışkanının kütleli debisinin $0,033 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda literatür modelinden ve deneyisel olarak hesaplanan kolektör veriminin giriş sıcaklığına göre doğrusal ve ikinci derece değişimi sırasıyla Şekil 7.135 ve Şekil 7.136’da, çalışma akışkanının ortalama sıcaklığına göre doğrusal ve ikinci derece değişimi sırasıyla Şekil 7.138 ve 7.139’da gösterilmektedir. Doğrusal ve ikinci dereceden yaklaşımlar şekillerde verilmektedir.

Çizelge 7.16. Deney No:12 sonuçları

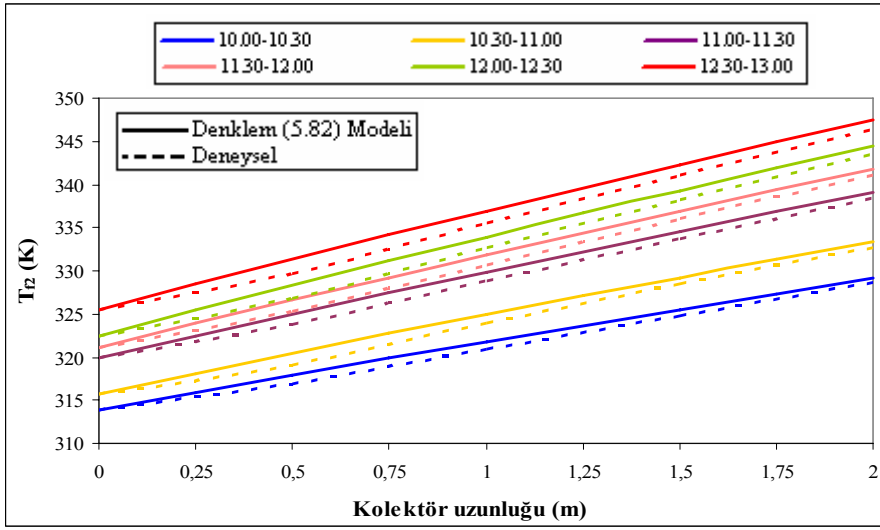
Tarih: 15.08.2008										
Kolektör Alanı:2 m ²				Akışkan debisi: 0,033 kg/sm ²						
Yutucu Yüzey: Siyaha boyanmış yüzey				Üst örtü: Düşük demir oksitli cam						
Kolektör Tipi: Çift hava kanallı				Kolektör Eğimi: 40°						
İzotermal model										
Zaman	T _a (K)	I (W/m ²)	V _w (m/s)	T _{fi} (K)	η _I Liter. Mod.	η _I Den.	Den. Hata ±	η _{II} Liter. Mod.	η _{II} Den.	Den. Hata ±
10.00 - 10.30	304,75	666,66	0,67	313,89	0,824	0,794	0,00109	0,098	0,091	0,0041
10.30 - 11.00	305,49	764,7	0,56	315,79	0,835	0,803	0,00124	0,111	0,104	0,0039
11.00 - 11.30	306,68	843,13	0,79	319,89	0,823	0,791	0,00129	0,121	0,114	0,0036
11.30 - 12.00	307,52	901,96	0,28	321,12	0,839	0,807	0,00141	0,129	0,122	0,0036
12.00 - 12.30	308,7	960,78	0,52	322,46	0,837	0,803	0,00142	0,133	0,125	0,0035
12.30 - 13.00	309,24	960,78	0,25	325,49	0,833	0,796	0,00143	0,137	0,128	0,0034
13.00 - 13.30	309,43	980,39	0,42	329,12	0,814	0,781	0,00143	0,14	0,131	0,0032
13.30 - 14.00	309,78	941,17	0,58	331,24	0,798	0,765	0,00136	0,136	0,128	0,0031
14.00 - 14.30	309,97	921,56	0,91	333,97	0,773	0,741	0,0013	0,133	0,125	0,003
14.30 - 15.00	310,05	882,35	1	335,87	0,754	0,725	0,00125	0,129	0,122	0,0029
15.00 - 15.30	310,36	823,52	0,91	335,12	0,754	0,723	0,00119	0,123	0,116	0,003
15.30 - 16.00	310,71	745,09	0,86	334,64	0,744	0,715	0,00111	0,114	0,107	0,003
16.00 - 16.30	310,93	647,05	0,32	333,46	0,749	0,713	0,00104	0,105	0,098	0,0032
16.30 – 17.00	310,61	529,41	0,78	331,26	0,709	0,682	0,00093	0,087	0,081	0,0042
Nonizotermal model										
Zaman	η _I Liter. Mod.	η _I Den.	Den. Hata ±	η _{II} Liter. Mod.	η _{II} Den.	Den. Hata ±	η _{II} Liter. Mod.	η _{II} Den.	Den. Hata ±	
				Metot I			Metot II			
10.00 - 10.30	0,594	0,564	0,00392	0,02944	0,02745	0,0041801	0,029	0,02795	0,00387	
10.30 - 11.00	0,605	0,573	0,00385	0,03396	0,03157	0,004112	0,034	0,03215	0,00379	
11.00 - 11.30	0,593	0,561	0,00366	0,03943	0,03666	0,0038927	0,04	0,03733	0,00358	
11.30 - 12.00	0,609	0,577	0,00371	0,04244	0,03951	0,0039432	0,043	0,04024	0,00362	
12.00 - 12.30	0,607	0,573	0,00363	0,04339	0,04013	0,0038671	0,044	0,04087	0,00354	
12.30 - 13.00	0,603	0,566	0,00356	0,04739	0,04357	0,0037643	0,048	0,04437	0,00344	
13.00 - 13.30	0,584	0,551	0,00342	0,05150	0,04781	0,0035887	0,052	0,04869	0,00328	
13.30 - 14.00	0,567	0,535	0,00332	0,05193	0,04825	0,0034706	0,052	0,04914	0,00317	
14.00 - 14.30	0,542	0,511	0,00317	0,05273	0,04906	0,0032845	0,053	0,04997	0,00300	
14.30 - 15.00	0,524	0,495	0,00308	0,05273	0,04930	0,0031711	0,053	0,05022	0,00289	
15.00 - 15.30	0,523	0,493	0,00311	0,05044	0,04699	0,0032086	0,051	0,04786	0,00293	
15.30 - 16.00	0,514	0,485	0,00313	0,04722	0,04412	0,0032211	0,048	0,04493	0,00296	
16.00 - 16.30	0,519	0,483	0,00324	0,04458	0,04099	0,003319	0,045	0,04175	0,00306	
16.30 – 17.00	0,479	0,452	0,00325	0,03689	0,03450	0,0032948	0,037	0,03514	0,00306	



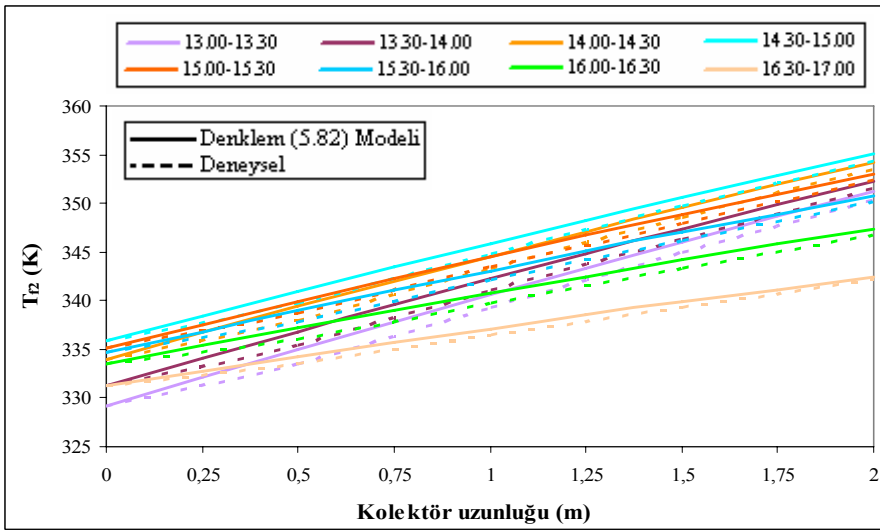
Şekil 7.128. Deney No:12 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)



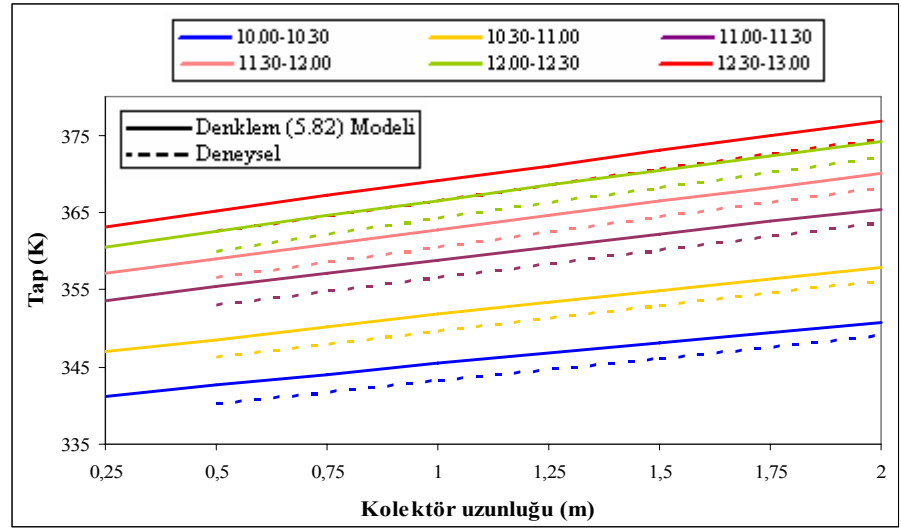
Şekil 7.129. Deney No:12 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



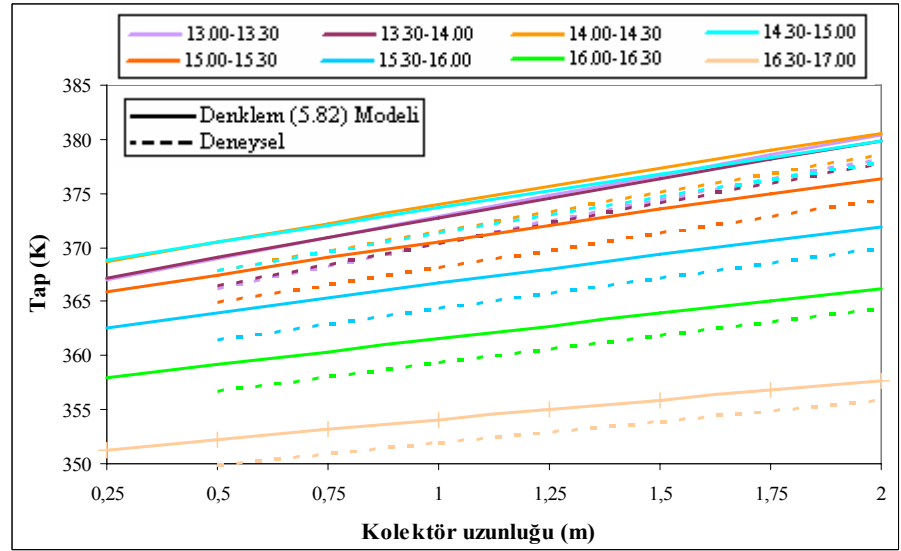
Şekil 7.130. Deney No:12 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)



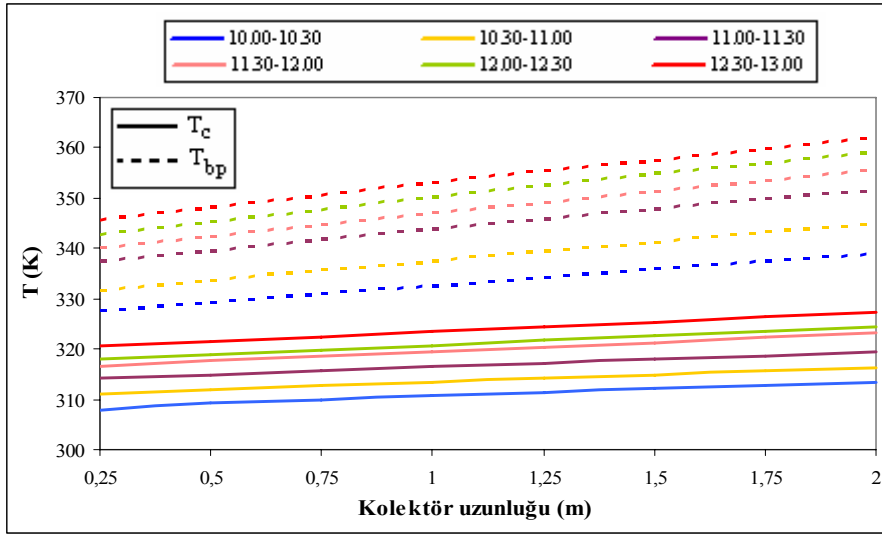
Şekil 7.131. Deney No:12 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



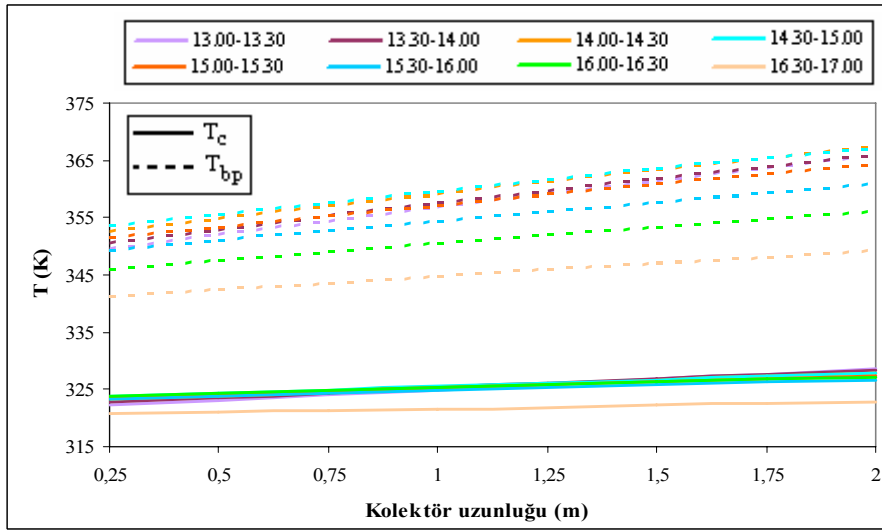
Şekil 7.132. Deney No:12 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)



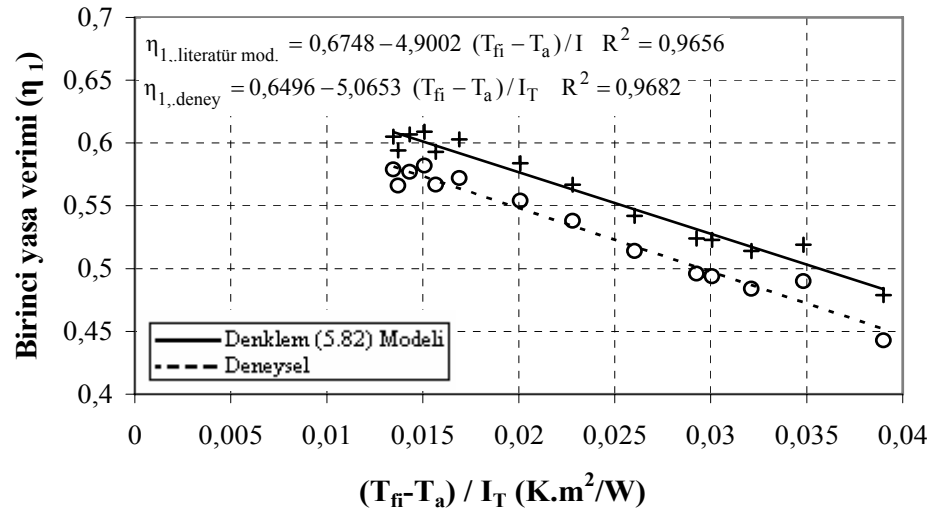
Şekil 7.133. Deney No:12 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



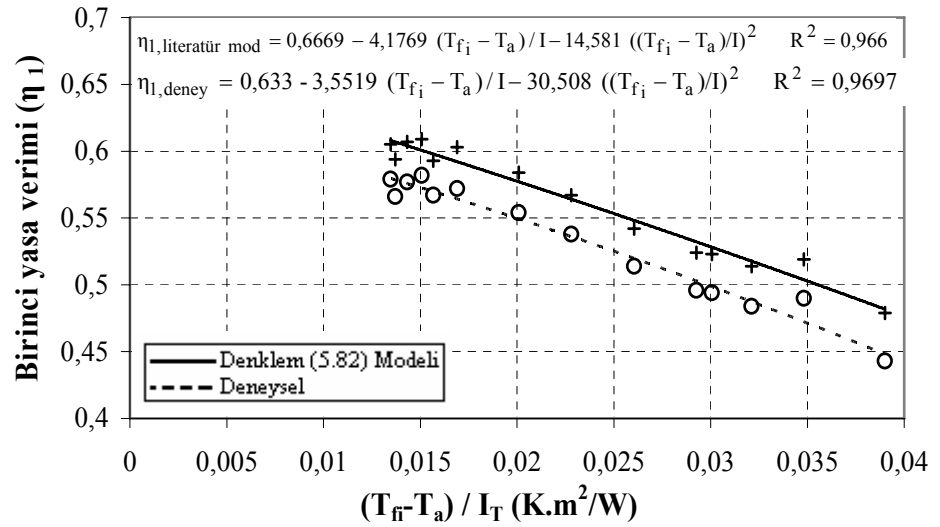
Şekil 7.134. Deney No:12 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)



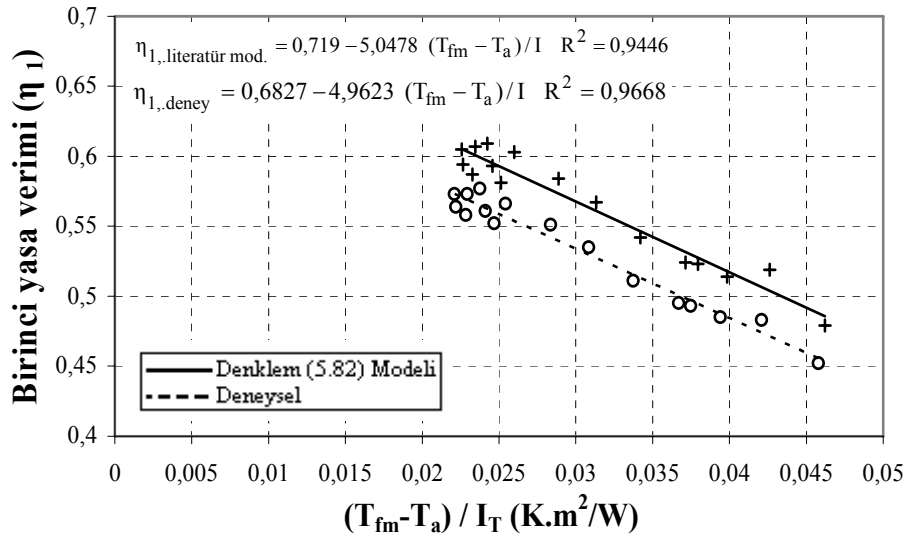
Şekil 7.135. Deney No:12 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



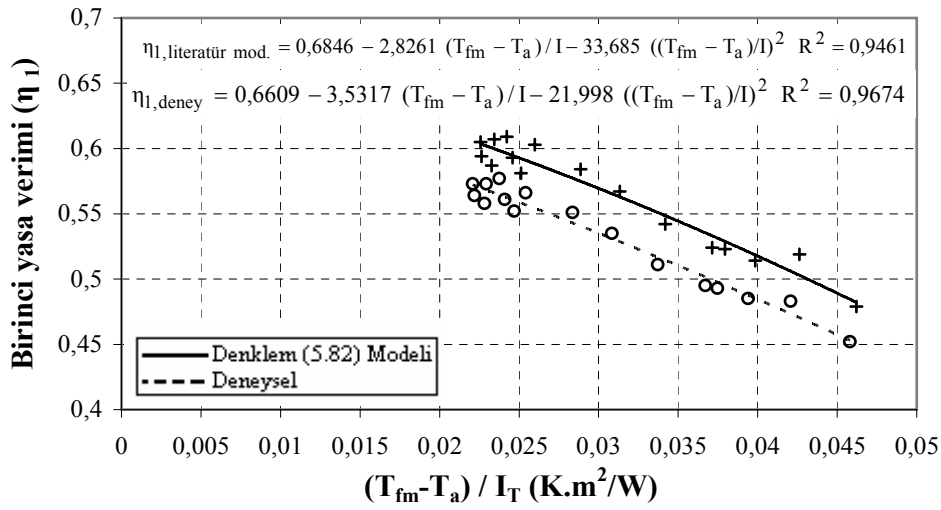
Şekil 7.136. Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:12)



Şekil 7.137. Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:12)



Şekil 7.138. Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:12)



Şekil 7.139. Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:12)

7.4.3 Deney No:13

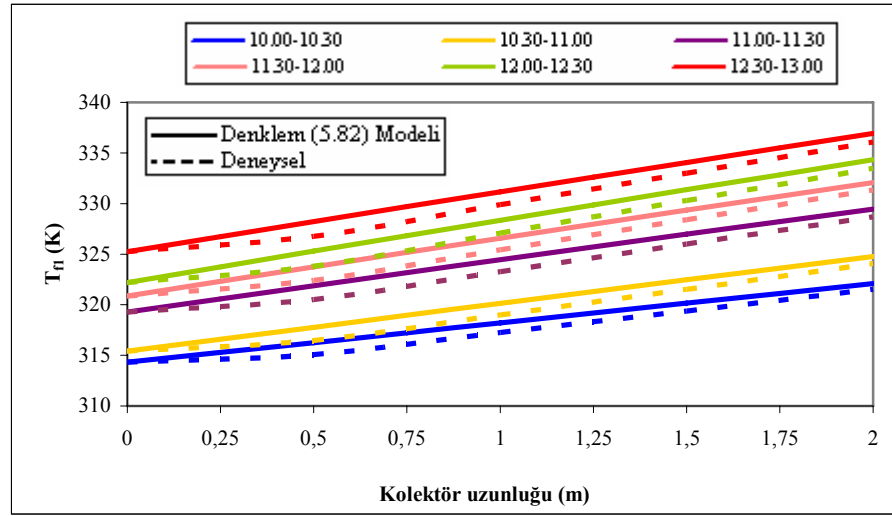
Bu deneylerde kolektörde dolaşan havanın kütleli debisinin $0,04 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda kolektör verim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kolektör çalışma parametresini geniş bir aralıkta incelemek amacıyla hava kolektöre girmeden önce kademeli olarak ön ısıtmaya tabi tutulmuştur. Deneyisel olarak ölçülen çevre sıcaklığı, kolektör düzlemine gelen güneş ışıması şiddeti ve giriş sıcaklıklarına göre deneyisel ve literatürden alınan Nusselt sayısına bağlı olarak bulunan izotermal ve nonizotermal enerji, ekserji verimleri ve hata değerleri Çizelge 7.17’de verilmiştir.

Literatürde oluklu yutucu levhaya sahip kolektörler için verilen denklem 5.82 kullanılarak sonlu farklar metodu ile kolektör boyunca 0,25 m aralıklarla hesaplanan üst ve alt kanaldaki hava, yutucu levha, cam örtü ve alt levha sıcaklıkları; 0,5 m aralıklarla ölçülen üst, alt kanaldaki hava ve yutucu levha üzerindeki sıcaklık değerleri ile karşılaştırılmış ve Şekil 7.140-7.147’de verilmiştir.

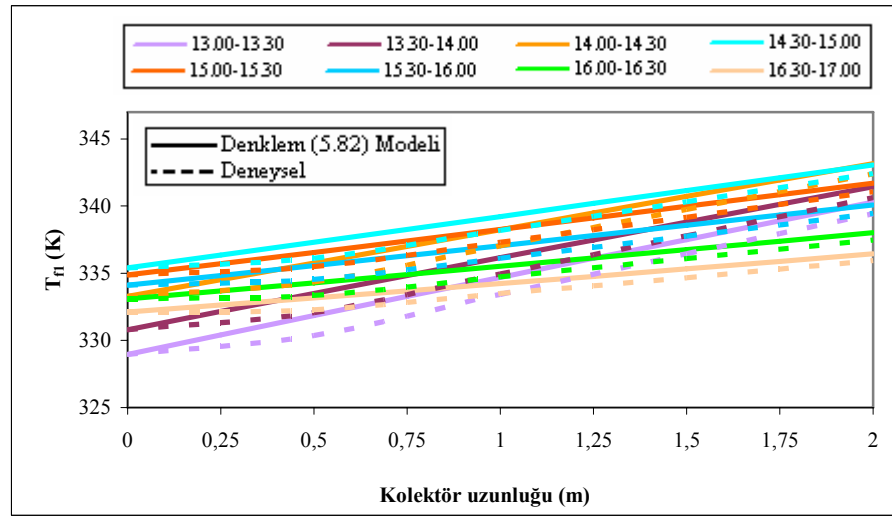
Kolektör verim eğrileri çalışma akışkanının giriş sıcaklığına veya ortalama akışkan sıcaklığına göre oluşturulmaktadır. Çalışma akışkanının kütleli debisinin $0,04 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda literatür modelinden ve deneyisel olarak hesaplanan kolektör veriminin giriş sıcaklığına göre doğrusal ve ikinci derece değişimi sırasıyla Şekil 7.148 ve 7.149’da, çalışma akışkanının ortalama sıcaklığına göre doğrusal ve ikinci derece değişimi sırasıyla Şekil 7.150 ve 7.151’de gösterilmektedir. Doğrusal ve ikinci dereceden yaklaşımlar şekillerde verilmektedir.

Çizelge 7.17. Deney No:13 sonuçları

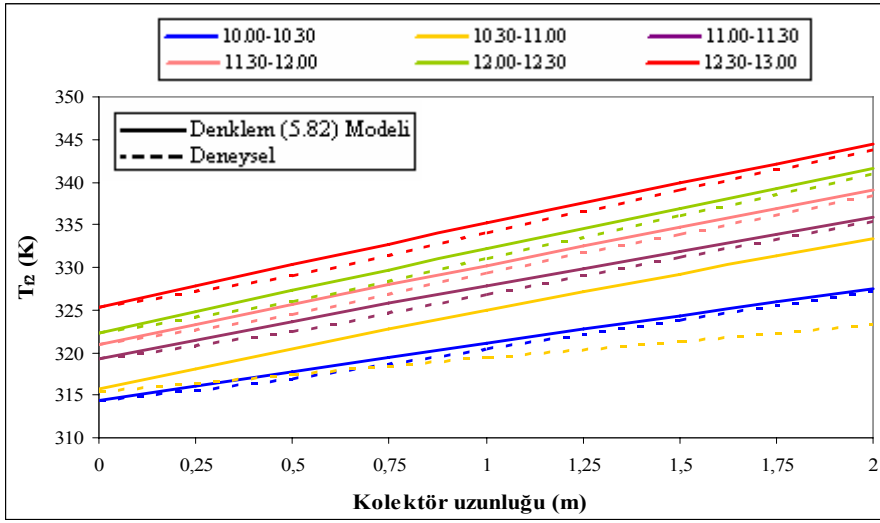
Tarih: 17.08.2008										
Kolektör Alanı:2 m²										
Akışkan debisi: 0,04 kg/sm²										
Yutucu Yüzey: Siyaha boyanmış yüzey										
Üst örtü: Düşük demir oksitli cam										
Kolektör Tipi: Çift hava kanallı										
Kolektör Eğimi: 40°										
İzotermal model										
Zaman	T _a (K)	I (W/m ²)	V _w (m/s)	T _{fi} (K)	η _I Liter. Mod.	η _I Den.	Den. Hata ±	η _{II} Liter. Mod.	η _{II} Den.	Den. Hata ±
10.00 - 10.30	305,87	686,27	0,42	314,33	0,843	0,816	0,00098	0,092	0,086	0,0043
10.30 - 11.00	307,16	784,31	0,34	315,41	0,859	0,829	0,00108	0,102	0,095	0,0042
11.00 - 11.30	308,49	862,74	0,32	319,29	0,855	0,824	0,00113	0,113	0,106	0,0039
11.30 - 12.00	309,44	941,17	0,34	320,87	0,859	0,831	0,00121	0,121	0,114	0,0038
12.00 - 12.30	310,54	1000	0,26	322,19	0,864	0,834	0,00125	0,126	0,119	0,0037
12.30 - 13.00	311,34	1000	0,35	325,24	0,853	0,822	0,00122	0,128	0,12	0,0036
13.00 - 13.30	312,09	1000	0,22	328,97	0,842	0,812	0,00121	0,131	0,123	0,0034
13.30 - 14.00	312,5	980,39	0,36	330,79	0,831	0,802	0,00117	0,129	0,122	0,0034
14.00 - 14.30	312,89	960,78	0,42	333,27	0,816	0,787	0,00113	0,128	0,121	0,0033
14.30 - 15.00	312,94	843,13	0,59	335,41	0,785	0,758	0,001	0,118	0,111	0,0032
15.00 - 15.30	313,05	784,31	0,67	334,87	0,774	0,746	0,00094	0,111	0,104	0,0032
15.30 - 16.00	313,71	686,27	0,42	334,11	0,773	0,743	0,00087	0,101	0,094	0,0034
16.00 - 16.30	314,13	607,84	0,59	333,08	0,758	0,729	0,0008	0,091	0,084	0,0035
16.30 – 17.00	313,88	549,01	0,48	332,11	0,752	0,722	0,00076	0,084	0,078	0,0044
Nonizotermal model										
Zaman	η _I Liter. Mod.	η _I Den.	Den. Hata ±	η _{II} Liter. Mod.	η _{II} Den.	Den. Hata ±	η _{II} Liter. Mod.	η _{II} Den.	Den. Hata ±	
				Metot I			Metot II			
10.00 - 10.30	0,613	0,586	0,00352	0,02758	0,02596	0,00382	0,02808	0,02644	0,00345	
10.30 - 11.00	0,629	0,599	0,00346	0,02957	0,02761	0,00379	0,03011	0,02812	0,00341	
11.00 - 11.30	0,624	0,594	0,00332	0,03522	0,03292	0,00363	0,03587	0,03353	0,00325	
11.30 - 12.00	0,629	0,6	0,00328	0,03780	0,03554	0,00360	0,03849	0,03619	0,00321	
12.00 - 12.30	0,634	0,604	0,00325	0,03945	0,03689	0,00357	0,04018	0,03758	0,00318	
12.30 - 13.00	0,622	0,592	0,00316	0,04252	0,03978	0,00345	0,04331	0,04052	0,00307	
13.00 - 13.30	0,612	0,582	0,00308	0,04684	0,04394	0,00334	0,04771	0,04476	0,00296	
13.30 - 14.00	0,6	0,572	0,00302	0,04786	0,04503	0,00326	0,04875	0,04587	0,0029	
14.00 - 14.30	0,585	0,557	0,00294	0,04959	0,04664	0,00315	0,05052	0,04751	0,0028	
14.30 - 15.00	0,554	0,528	0,00286	0,04840	0,04570	0,00303	0,04931	0,04655	0,0027	
15.00 - 15.30	0,543	0,516	0,00286	0,04565	0,04295	0,00301	0,04650	0,04375	0,00269	
15.30 - 16.00	0,543	0,513	0,00297	0,04228	0,03958	0,00310	0,04308	0,04032	0,00279	
16.00 - 16.30	0,528	0,499	0,00303	0,03788	0,03550	0,00313	0,03859	0,03616	0,0028	
16.30 – 17.00	0,522	0,492	0,00313	0,03574	0,03338	0,00319	0,03641	0,03401	0,00291	



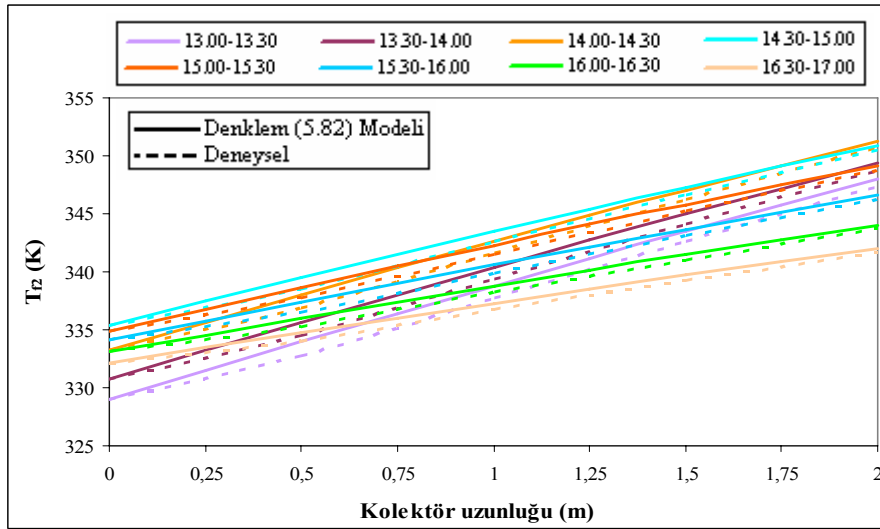
Şekil 7.140. Deney No: 13 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)



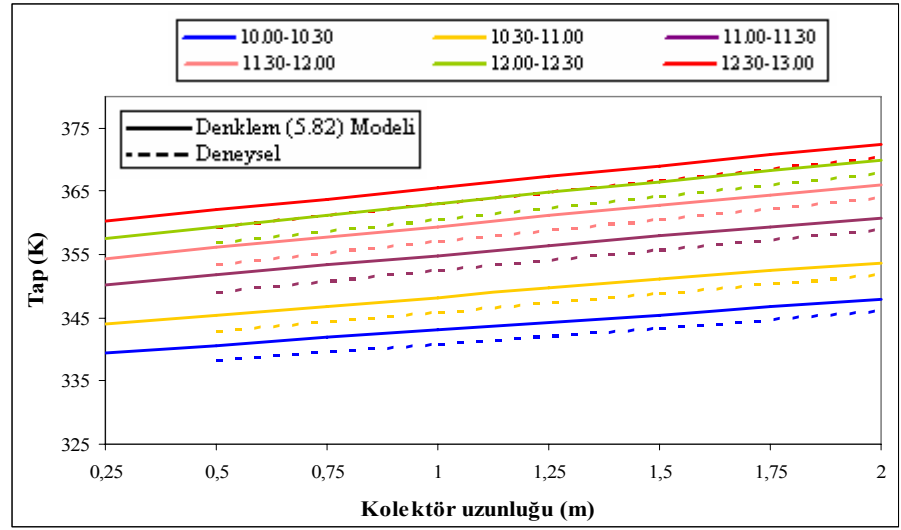
Şekil 7.141. Deney No: 13 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



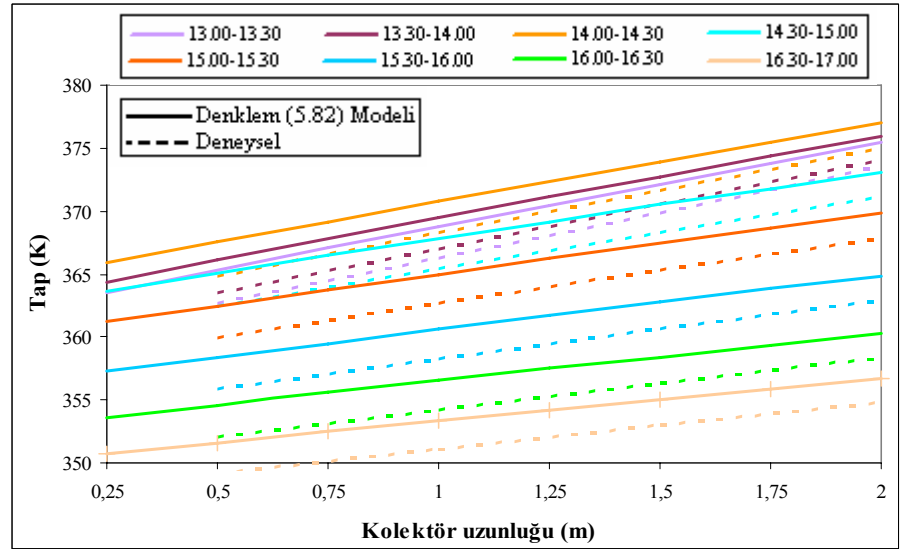
Şekil 7.142. Deney No:13 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)



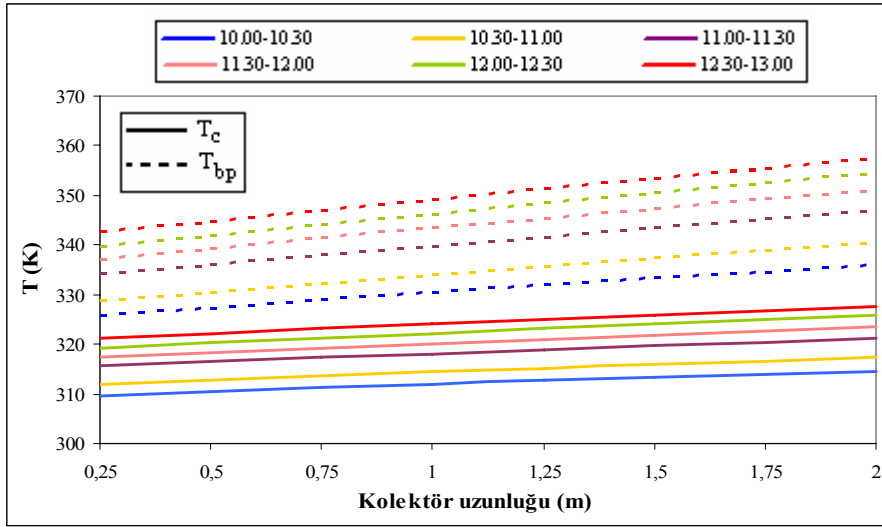
Şekil 7.143. Deney No:13 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



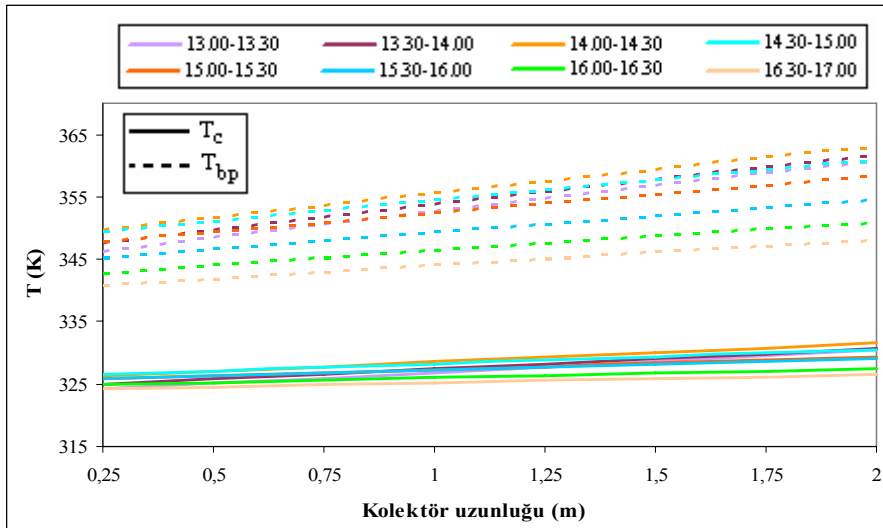
Şekil 7.144. Deney No:13 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)



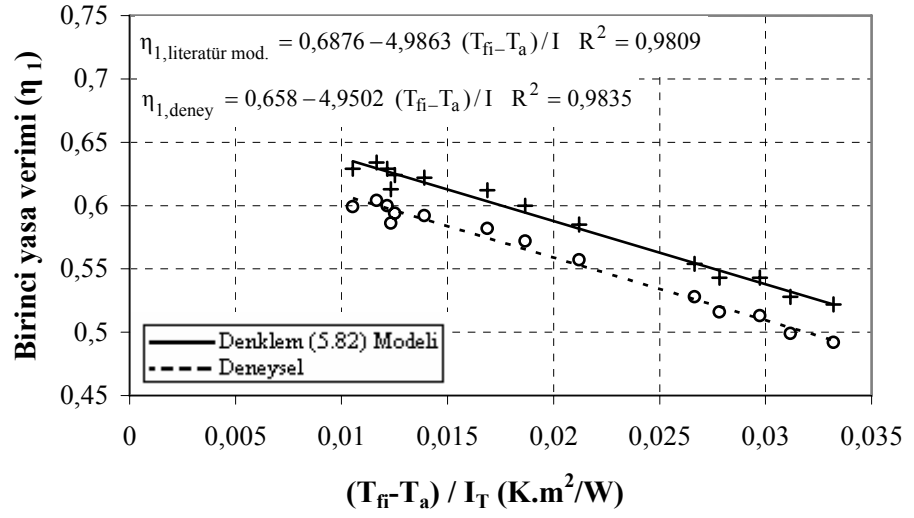
Şekil 7.145. Deney No:13 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



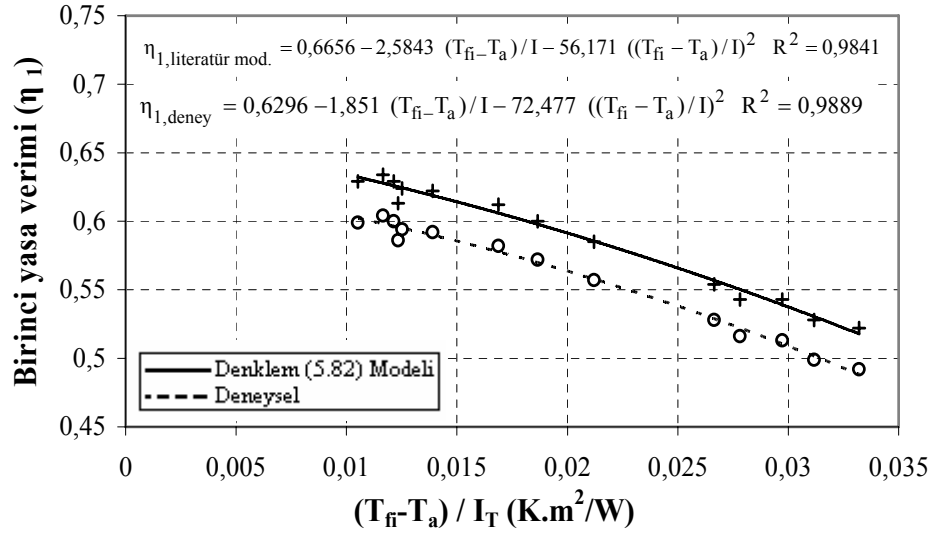
Şekil 7.146. Deney No:13 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)



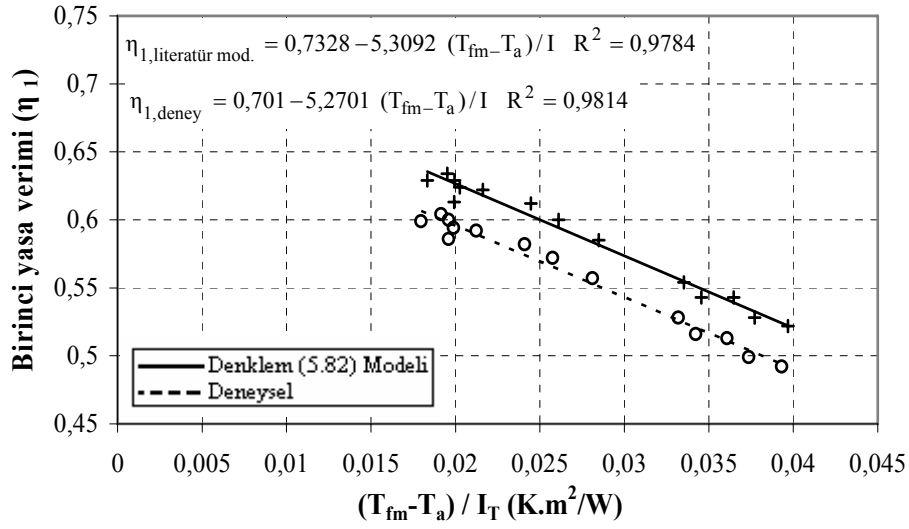
Şekil 7.147. Deney No:13 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



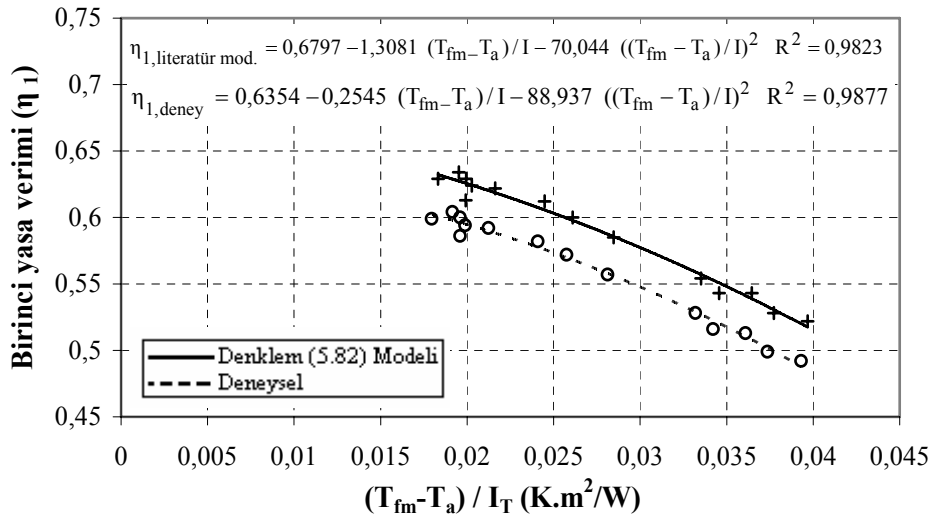
Şekil 7.148. Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:13)



Şekil 7.149. Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:13)



Şekil 7.150. Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:13)



Şekil 7.151. Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:13)

7.4.4 Deney No:14

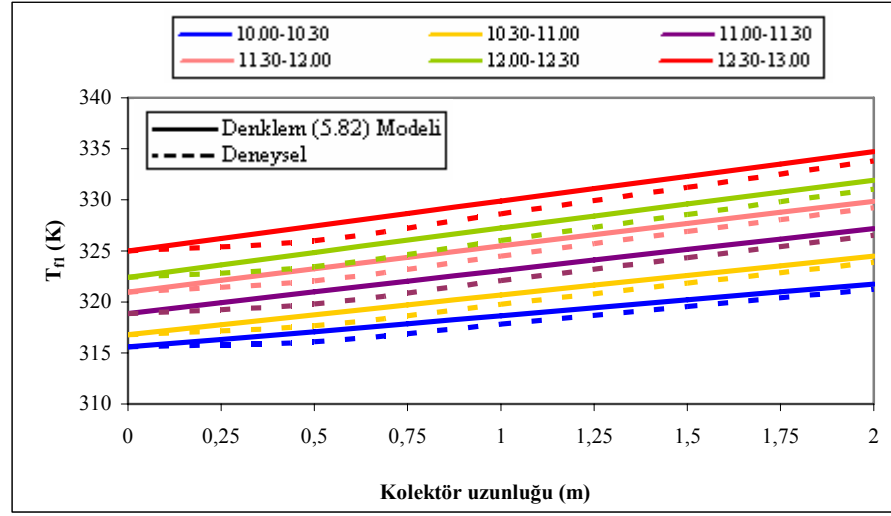
Bu deneylerde kolektörde dolaşan havanın kütleli debisinin $0,048 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda kolektör verim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kolektör çalışma parametresini geniş bir aralıkta incelemek amacıyla hava kolektöre girmeden önce kademeli olarak ön ısıtmaya tabi tutulmuştur. Deneysel olarak ölçülen çevre sıcaklığı, kolektör düzlemine gelen güneş ışıması şiddeti ve giriş sıcaklıklarına göre deneysel ve literatürden alınan Nusselt sayısına bağlı olarak bulunan izotermal ve nonizotermal enerji, ekserji verimleri ve hata değerleri Çizelge 7.18’de verilmiştir.

Literatürde oluklu yutucu levhaya sahip kolektörler için verilen denklem 5.82 kullanılarak sonlu farklar metodu ile kolektör boyunca 0,25 m aralıklarla hesaplanan üst ve alt kanaldaki hava, yutucu levha, cam örtü ve alt levha sıcaklıkları; 0,5 m aralıklarla ölçülen üst, alt kanaldaki hava ve yutucu levha üzerindeki sıcaklık değerleri ile karşılaştırılmış ve Şekil 7.152-7.159’da verilmiştir.

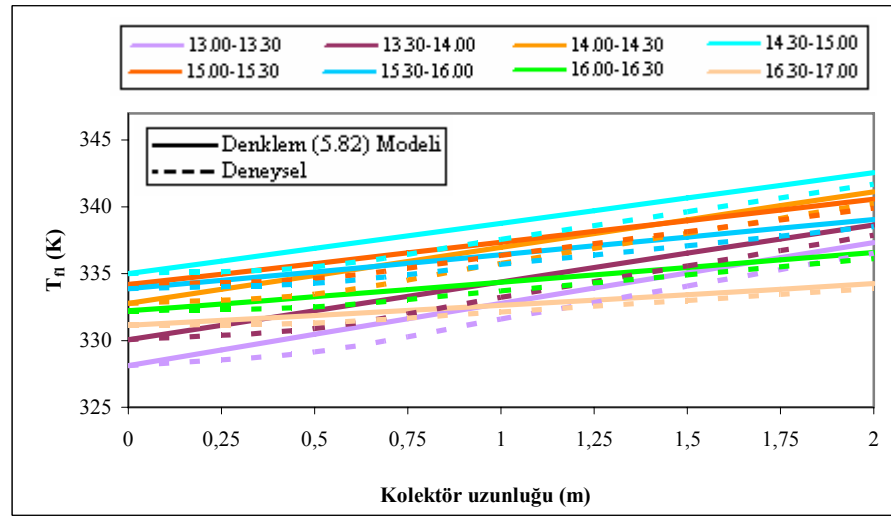
Kolektör verim eğrileri çalışma akışkanının giriş sıcaklığına veya ortalama akışkan sıcaklığına göre oluşturulmaktadır. Çalışma akışkanının kütleli debisinin $0,048 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda literatür modelinden ve deneysel olarak hesaplanan kolektör veriminin giriş sıcaklığına göre doğrusal ve ikinci derece değişimi sırasıyla Şekil 7.160 ve 7.161’de, çalışma akışkanının ortalama sıcaklığına göre doğrusal ve ikinci derece değişimi sırasıyla Şekil 7.162 ve 7.163’de gösterilmektedir. Doğrusal ve ikinci dereceden yaklaşımlar şekillerde verilmektedir.

Çizelge 7.18. Deney No:14 sonuçları

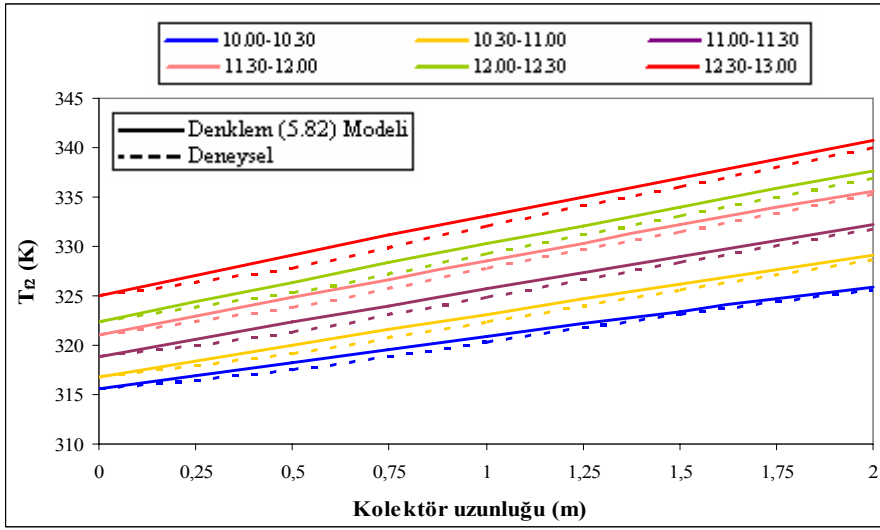
Tarih: 19.08.2008										
Kolektör Alanı:2 m²										
Akışkan debisi: 0,048 kg/sm²										
Yutucu Yüzey: Siyaha boyanmış yüzey										
Üst örtü: Düşük demir oksitli cam										
Kolektör Tipi: Çift hava kanallı										
Kolektör Eğimi: 40°										
İzotermal model										
Zaman	T _a (K)	I (W/m ²)	V _w (m/s)	T _{fi} (K)	η _i Liter. Mod.	η _i Den.	Den. Hata ±	η _{ii} Liter. Mod.	η _{ii} Den.	Den. Hata ±
10.00 - 10.30	308,52	647,05	0,68	315,58	0,846	0,817	0,0008	0,078	0,072	0,0045
10.30 - 11.00	310,37	764,7	1,02	316,77	0,865	0,833	0,00089	0,088	0,081	0,0045
11.00 - 11.30	311,18	823,52	0,89	318,86	0,865	0,832	0,00092	0,095	0,088	0,0043
11.30 - 12.00	311,23	911,76	1,24	320,97	0,855	0,828	0,00097	0,104	0,098	0,004
12.00 - 12.30	311,25	941,17	0,45	322,42	0,865	0,825	0,00098	0,111	0,102	0,0039
12.30 - 13.00	311,66	980,39	0,33	324,97	0,86	0,82	0,001	0,117	0,107	0,0038
13.00 - 13.30	311,74	1000	0,64	328,12	0,838	0,804	0,00097	0,12	0,112	0,0035
13.30 - 14.00	311,97	980,39	0,74	330,06	0,824	0,791	0,00093	0,119	0,111	0,0034
14.00 - 14.30	312,12	980,39	0,53	332,78	0,816	0,778	0,00091	0,122	0,113	0,0033
14.30 - 15.00	312,13	941,17	0,49	335,01	0,8	0,761	0,00088	0,121	0,111	0,0032
15.00 - 15.30	311,88	862,74	0,79	334,18	0,782	0,751	0,00082	0,112	0,104	0,0032
15.30 - 16.00	311,57	784,31	1,03	333,87	0,758	0,731	0,00077	0,103	0,097	0,0032
16.00 - 16.30	311,27	705,88	1,21	332,21	0,746	0,721	0,00073	0,094	0,089	0,0033
16.30 - 17.00	310,58	607,84	1,41	331,14	0,712	0,692	0,00072	0,083	0,079	0,0047
Nonizotermal model										
Zaman	η _i Liter. Mod.	η _i Den.	Den. Hata ±	η _{ii} Liter. Mod.	η _{ii} Den.	Den. Hata ±	η _{iii} Liter. Mod.	η _{iii} Den.	Den. Hata ±	
				Metot I			Metot II			
10.00 - 10.30	0,616	0,587	0,00323	0,02265	0,02126	0,00351	0,02307	0,021	0,003117	
10.30 - 11.00	0,635	0,603	0,00310	0,02373	0,02204	0,00345	0,02417	0,022	0,0030297	
11.00 - 11.30	0,634	0,602	0,00301	0,02695	0,02506	0,00337	0,02745	0,025	0,0029371	
11.30 - 12.00	0,625	0,598	0,00289	0,03144	0,02963	0,00324	0,03202	0,03	0,0028078	
12.00 - 12.30	0,634	0,595	0,00284	0,03525	0,03236	0,00318	0,03591	0,032	0,0027506	
12.30 - 13.00	0,629	0,59	0,00277	0,03938	0,03623	0,0031	0,04011	0,036	0,0026685	
13.00 - 13.30	0,608	0,574	0,00266	0,04340	0,04038	0,00296	0,04421	0,041	0,00254	
13.30 - 14.00	0,594	0,561	0,00261	0,04490	0,04186	0,00288	0,04574	0,042	0,0024704	
14.00 - 14.30	0,585	0,548	0,00254	0,04847	0,04475	0,00278	0,04937	0,045	0,002379	
14.30 - 15.00	0,57	0,531	0,00248	0,05016	0,04618	0,00268	0,05110	0,047	0,0023021	
15.00 - 15.30	0,552	0,521	0,00251	0,04670	0,04368	0,00269	0,04757	0,044	0,0023186	
15.30 - 16.00	0,528	0,5	0,00251	0,04376	0,04117	0,00264	0,04457	0,041	0,0022932	
16.00 - 16.30	0,515	0,491	0,00258	0,03995	0,03781	0,00268	0,04069	0,038	0,0023465	
16.30 - 17.00	0,482	0,462	0,00264	0,03589	0,03421	0,00264	0,03656	0,034	0,0023436	



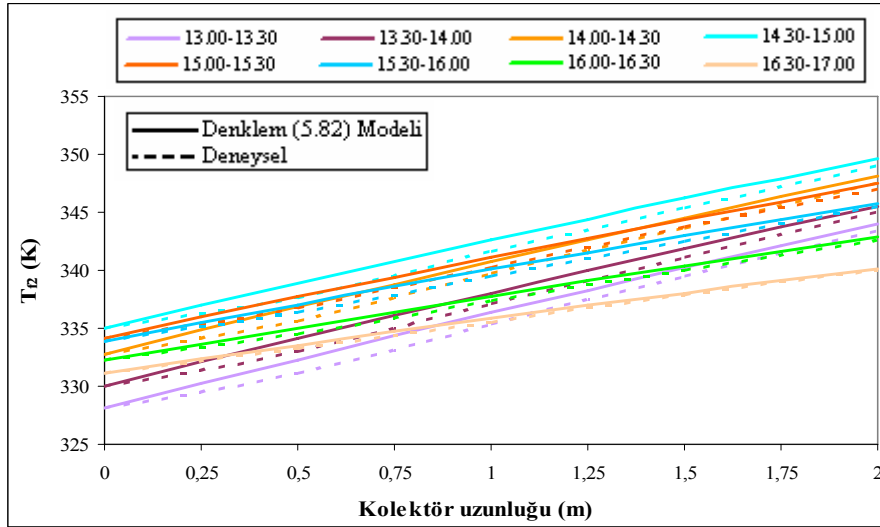
Şekil 7.152. Deney No:14 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)



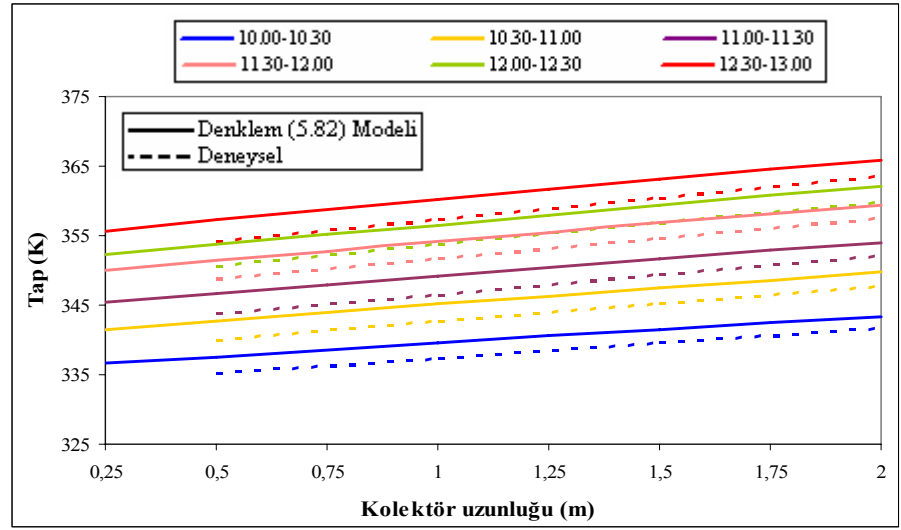
Şekil 7.153. Deney No:14 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



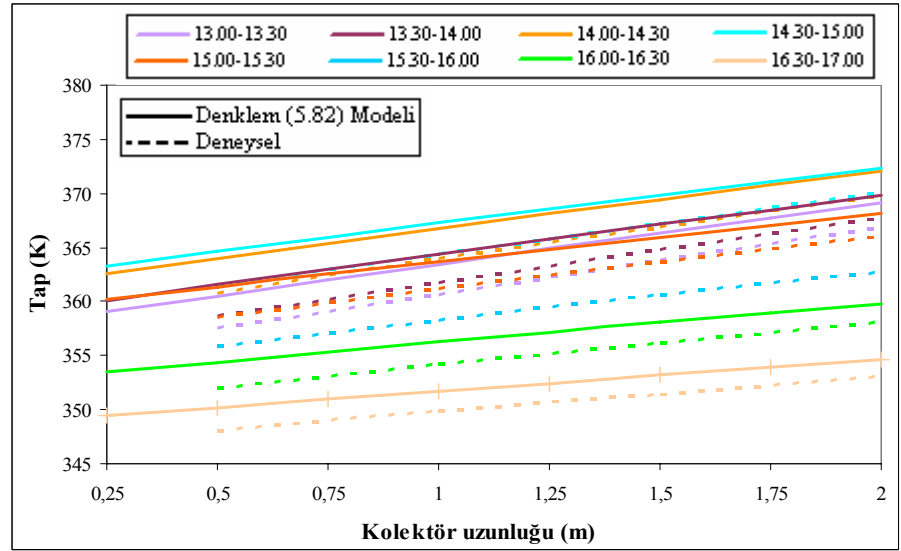
Şekil 7.154. Deney No:14 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)



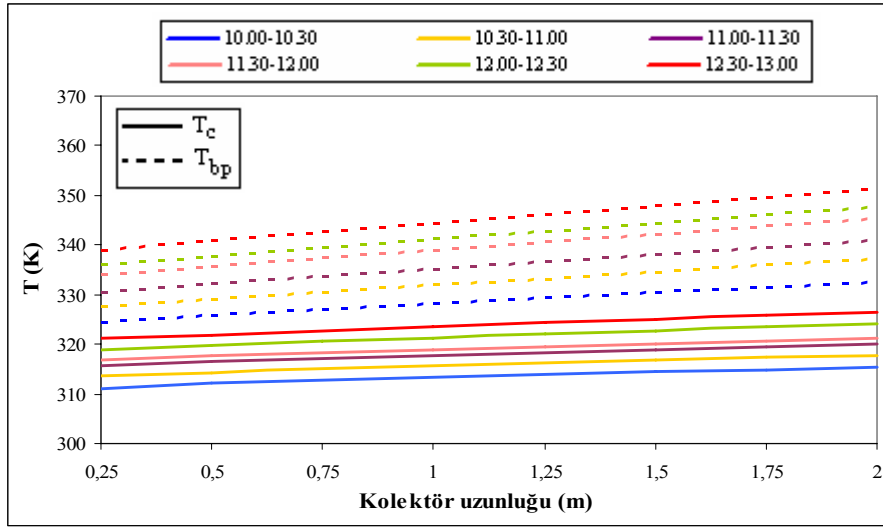
Şekil 7.155. Deney No:14 için alt kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



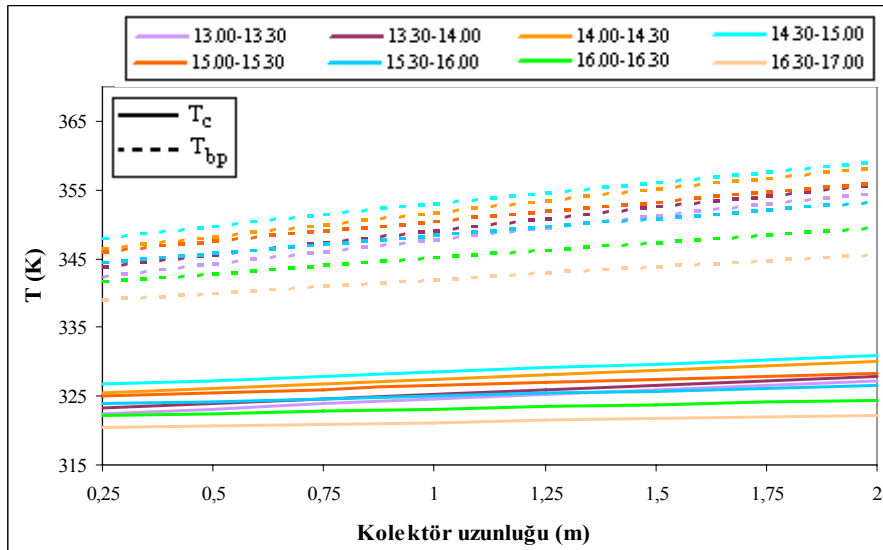
Şekil 7.156. Deney No:14 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)



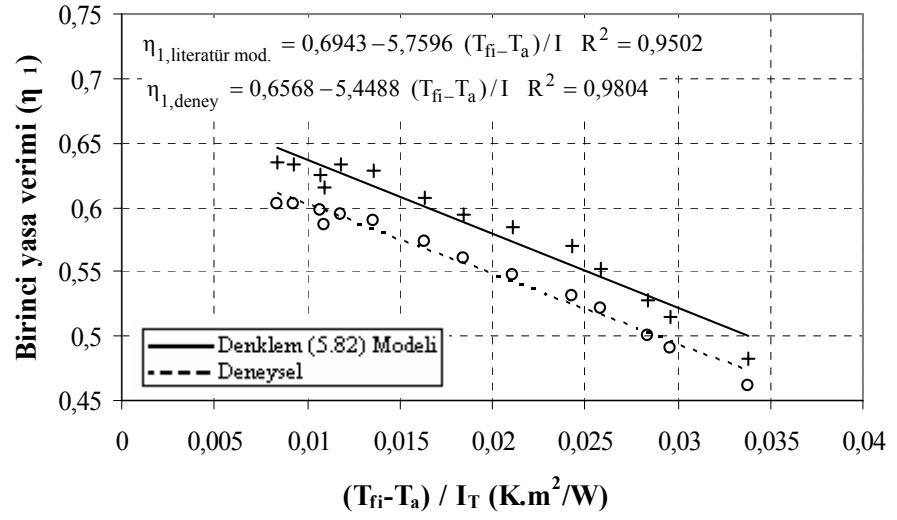
Şekil 7.157. Deney No:14 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



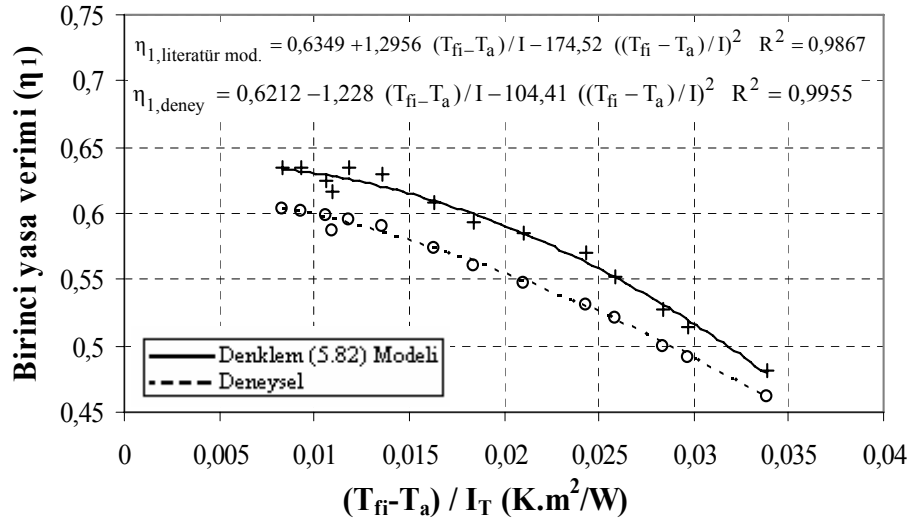
Şekil 7.158. Deney No:14 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)



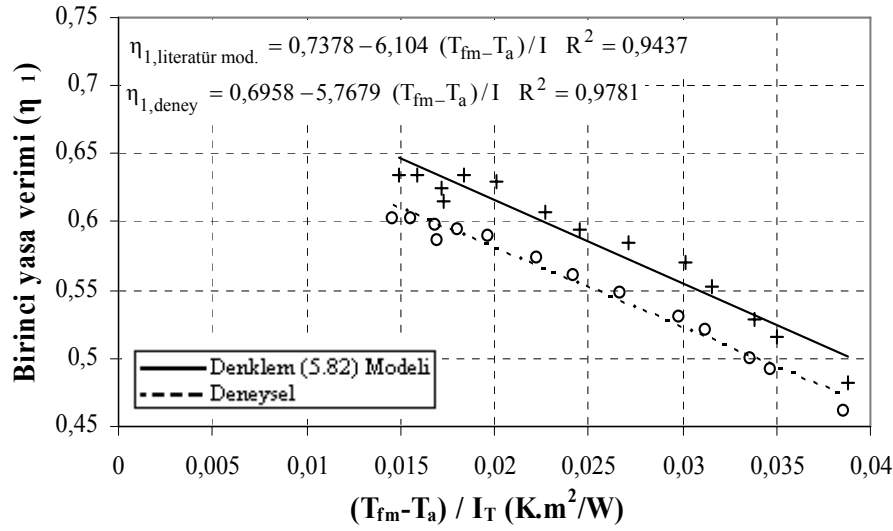
Şekil 7.159. Deney No:14 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



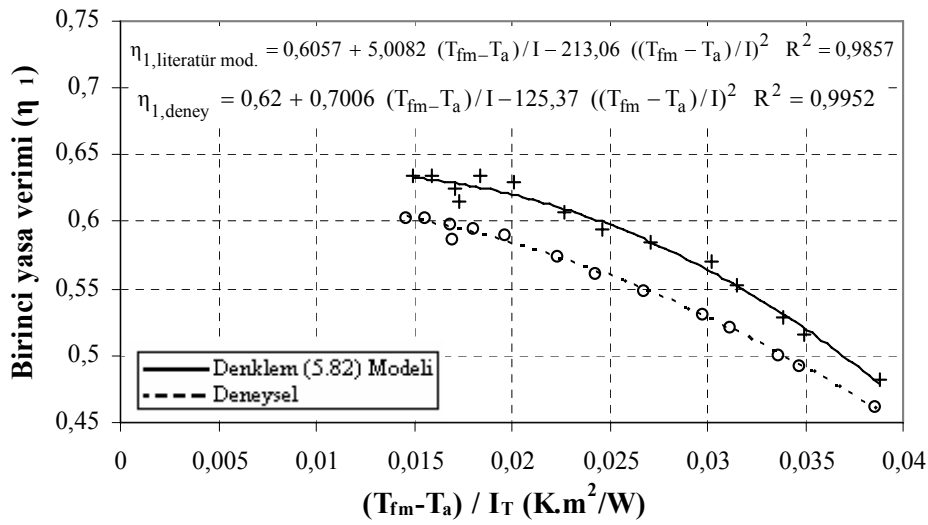
Şekil 7.160. Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:14)



Şekil 7.161. Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:14)



Şekil 7.162. Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:14)



Şekil 7.163. Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:14)

7.4.5 Deney No:15

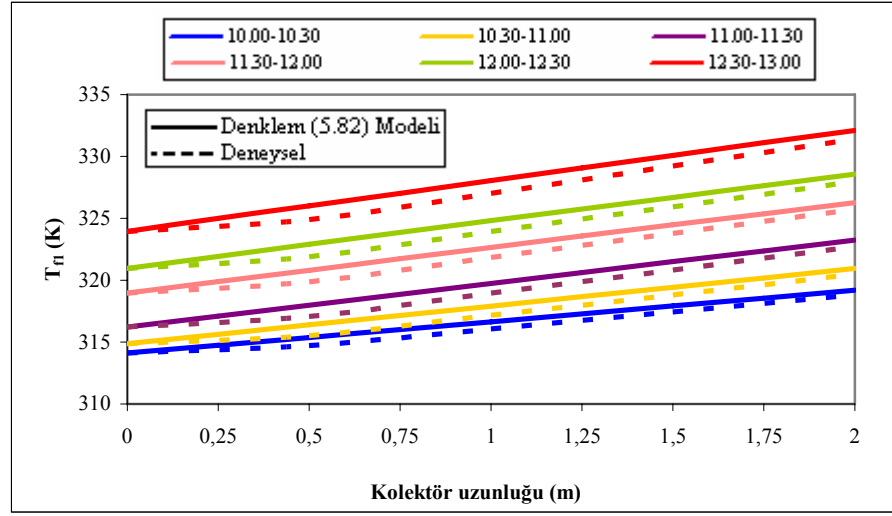
Bu deneylerde kolektörde dolaşan havanın kütleli debisinin $0,055 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda kolektör verim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kolektör çalışma parametresini geniş bir aralıkta incelemek amacıyla hava kolektöre girmeden önce kademeli olarak ön ısıtmaya tabi tutulmuştur. Deneysel olarak ölçülen çevre sıcaklığı, kolektör düzlemine gelen güneş ışıması şiddeti ve giriş sıcaklıklarına göre deneysel ve literatürden alınan Nusselt sayısına bağlı olarak bulunan izotermal ve nonizotermal enerji, ekserji verimleri ve hata değerleri Çizelge 7.19’da verilmiştir.

Literatürde oluklu yutucu levhaya sahip kolektörler için verilen denklem 5.82 kullanılarak sonlu farklar metodu ile kolektör boyunca 0,25 m aralıklarla hesaplanan üst ve alt kanaldaki hava, yutucu levha, cam örtü ve alt levha sıcaklıkları; 0,5 m aralıklarla ölçülen üst, alt kanaldaki hava ve yutucu levha üzerindeki sıcaklık değerleri ile karşılaştırılmış ve Şekil 7.164-7.171’de verilmiştir.

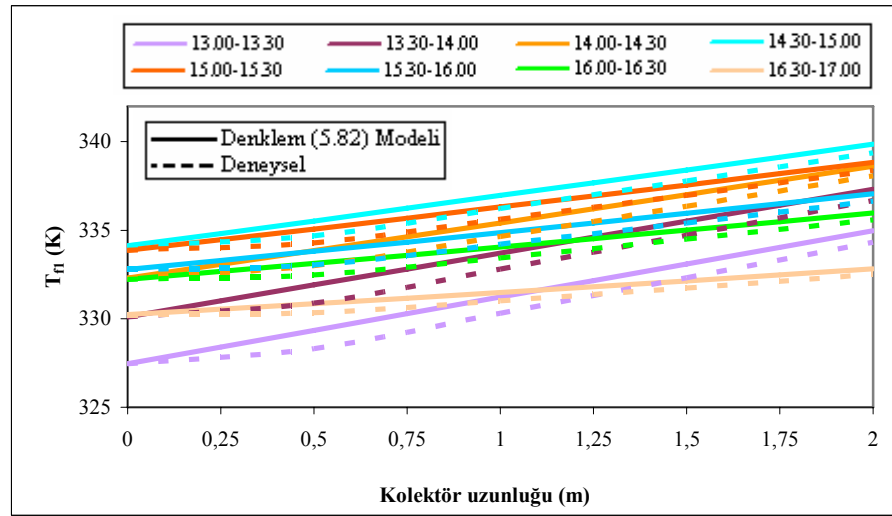
Kolektör verim eğrileri çalışma akışkanının giriş sıcaklığına veya ortalama akışkan sıcaklığına göre oluşturulmaktadır. Çalışma akışkanının kütleli debisinin $0,055 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda literatür modelinden ve deneysel olarak hesaplanan kolektör veriminin giriş sıcaklığına göre doğrusal ve ikinci derece değişimi sırasıyla Şekil 7.172 ve 7.173’de, çalışma akışkanının ortalama sıcaklığına göre doğrusal ve ikinci derece değişimi sırasıyla Şekil 7.174 ve Şekil 7.175’de gösterilmektedir. Doğrusal ve ikinci dereceden yaklaşımlar şekillerde verilmektedir.

Çizelge 7.19. Deney No:15 sonuçları

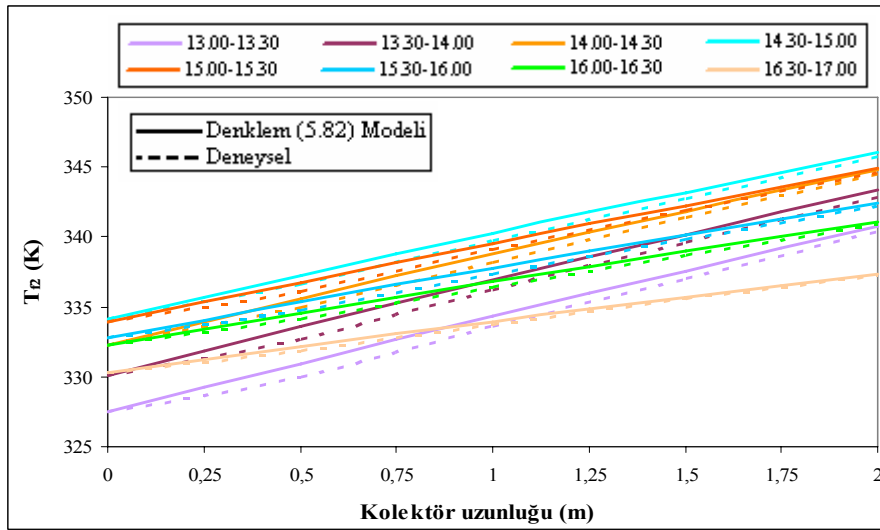
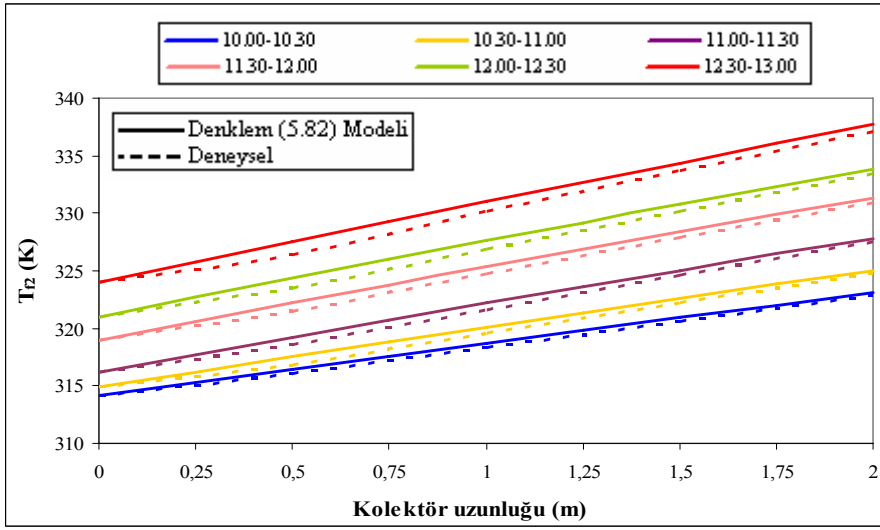
Tarih: 22.08.2008										
Kolektör Alanı:2 m ²				Akışkan debisi: 0,055 kg/sm ²						
Yutucu Yüzey: Siyaha boyanmış yüzey				Üst örtü: Düşük demir oksitli cam						
Kolektör Tipi: Çift hava kanallı				Kolektör Eğimi: 40°						
İzotermal model										
Zaman	T _a (K)	I (W/m ²)	V _w (m/s)	T _{fi} (K)	η _I Liter. Mod.	η _I Den.	Den. Hata ±	η _{II} Liter. Mod.	η _{II} Den.	Den. Hata ±
10.00 - 10.30	305,13	647,05	0,63	314,12	0,8313	0,806	0,00074	0,077	0,072	0,0045
10.30 - 11.00	306,4	725,49	0,57	314,87	0,8511	0,822	0,00081	0,083	0,078	0,0045
11.00 - 11.30	307,13	823,52	0,91	316,23	0,856	0,827	0,00087	0,092	0,086	0,0043
11.30 - 12.00	307,7	882,35	1,02	318,97	0,8477	0,819	0,00087	0,1	0,093	0,0041
12.00 - 12.30	308,24	921,56	0,84	320,97	0,8468	0,816	0,00088	0,105	0,098	0,0039
12.30 - 13.00	308,76	980,39	0,45	323,95	0,8489	0,814	0,00091	0,114	0,106	0,0037
13.00 - 13.30	309,08	960,78	0,36	327,46	0,8311	0,799	0,00088	0,115	0,108	0,0035
13.30 - 14.00	309,66	960,78	0,45	330,11	0,8197	0,788	0,00086	0,117	0,11	0,0034
14.00 - 14.30	310,02	921,56	0,63	332,29	0,7979	0,771	0,00081	0,114	0,108	0,0033
14.30 - 15.00	310,34	882,35	0,54	334,12	0,7848	0,76	0,00079	0,112	0,106	0,0032
15.00 - 15.30	310,64	823,52	0,77	333,87	0,7678	0,744	0,00074	0,105	0,099	0,0032
15.30 - 16.00	311,02	725,49	0,63	332,79	0,7632	0,739	0,0007	0,096	0,09	0,0034
16.00 - 16.30	310,87	666,66	0,54	332,23	0,7536	0,73	0,00068	0,09	0,085	0,0034
16.30 – 17.00	310,61	549,01	0,68	330,24	0,7202	0,698	0,00066	0,076	0,072	0,0047
Nonizotermal model										
Zaman	η _I Liter. Mod.	η _I Den.	Den. Hata ±	η _{II} Liter. Mod.	η _{II} Den.	Den. Hata ±	η _{II} Liter. Mod.	η _{II} Den.	Den. Hata ±	
				Metot I			Metot II			
10.00 - 10.30	0,601	0,576	0,00302	0,024	0,02361	0,00323	0,02533	0,02404	0,0028	
10.30 - 11.00	0,621	0,592	0,00292	0,025	0,02415	0,00321	0,02614	0,02459	0,00275	
11.00 - 11.30	0,625	0,597	0,00278	0,028	0,02654	0,00312	0,02872	0,02702	0,00264	
11.30 - 12.00	0,617	0,589	0,00267	0,032	0,03059	0,00299	0,03305	0,03115	0,00252	
12.00 - 12.30	0,616	0,586	0,00260	0,035	0,03334	0,00293	0,03617	0,03395	0,00245	
12.30 - 13.00	0,618	0,584	0,00252	0,04	0,03804	0,00285	0,04158	0,03875	0,00237	
13.00 - 13.30	0,6	0,569	0,00246	0,044	0,04204	0,00274	0,04567	0,04282	0,00228	
13.30 - 14.00	0,589	0,558	0,00241	0,047	0,04440	0,00266	0,04818	0,04522	0,00221	
14.00 - 14.30	0,567	0,541	0,00237	0,047	0,04532	0,00258	0,04875	0,04616	0,00215	
14.30 - 15.00	0,554	0,53	0,00236	0,048	0,04623	0,00253	0,04954	0,04708	0,00211	
15.00 - 15.30	0,537	0,514	0,00236	0,045	0,04340	0,0025	0,04647	0,04420	0,0021	
15.30 - 16.00	0,532	0,509	0,00249	0,042	0,04010	0,00258	0,04295	0,04084	0,0022	
16.00 - 16.30	0,523	0,5	0,00257	0,04	0,03833	0,0026	0,04104	0,03904	0,00224	
16.30 – 17.00	0,489	0,468	0,00275	0,034	0,03260	0,00263	0,03486	0,03320	0,00232	

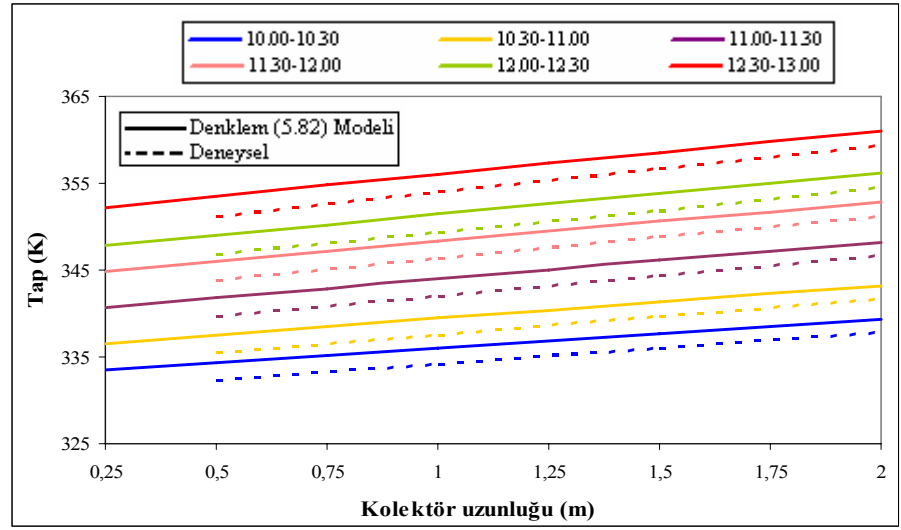


Şekil 7.164. Deney No:15 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)

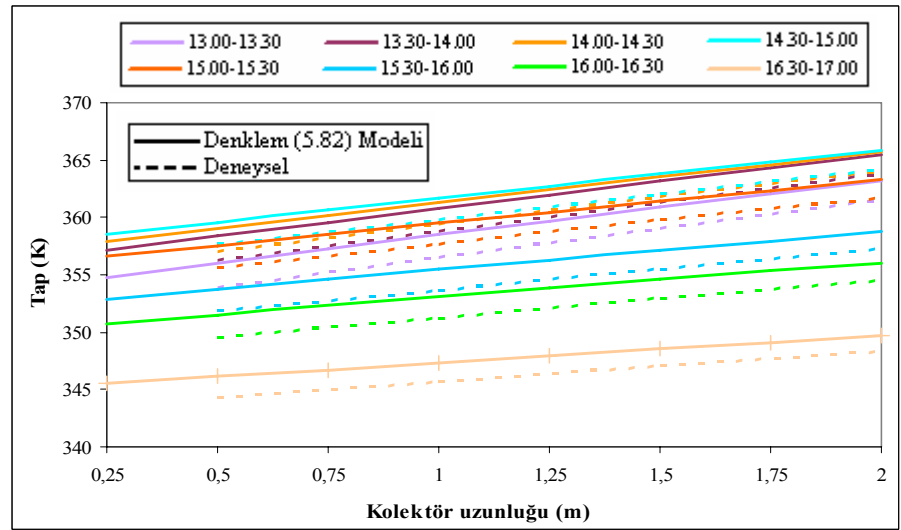


Şekil 7.165. Deney No:15 için üst kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Deney No:15)

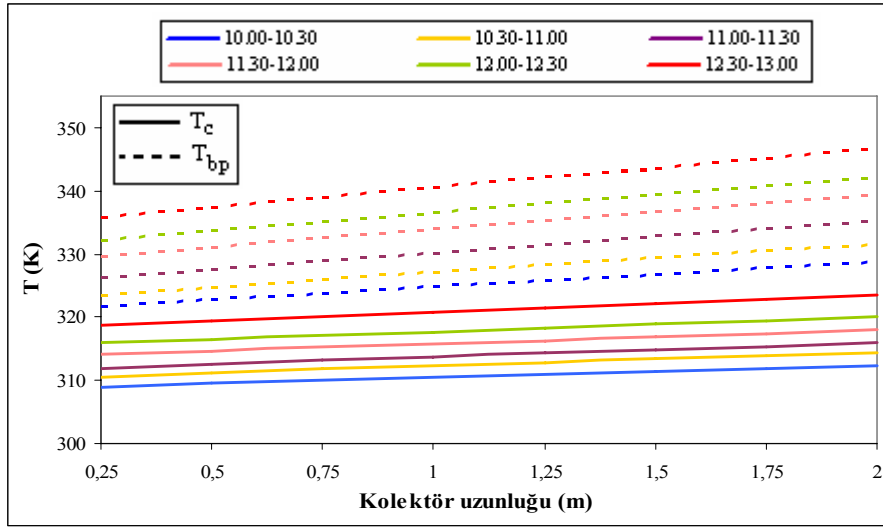




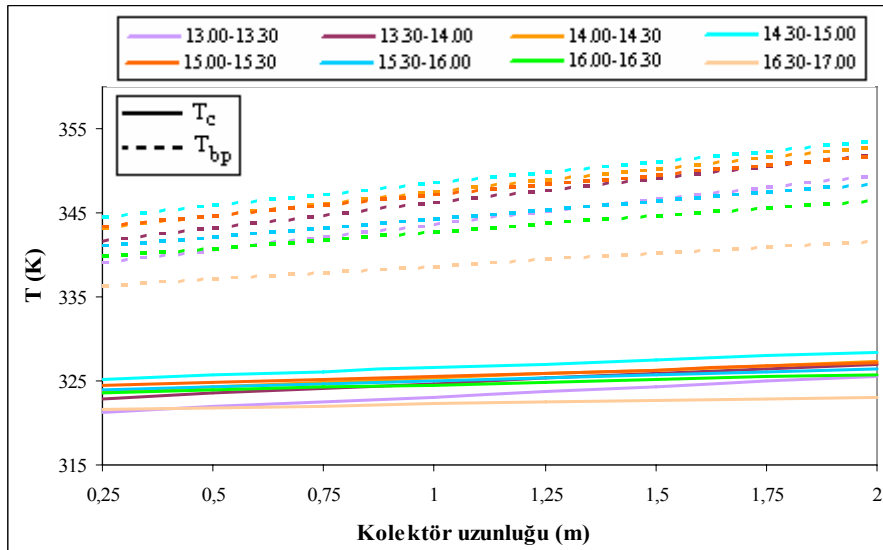
Şekil 7.168. Deney No:15 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)



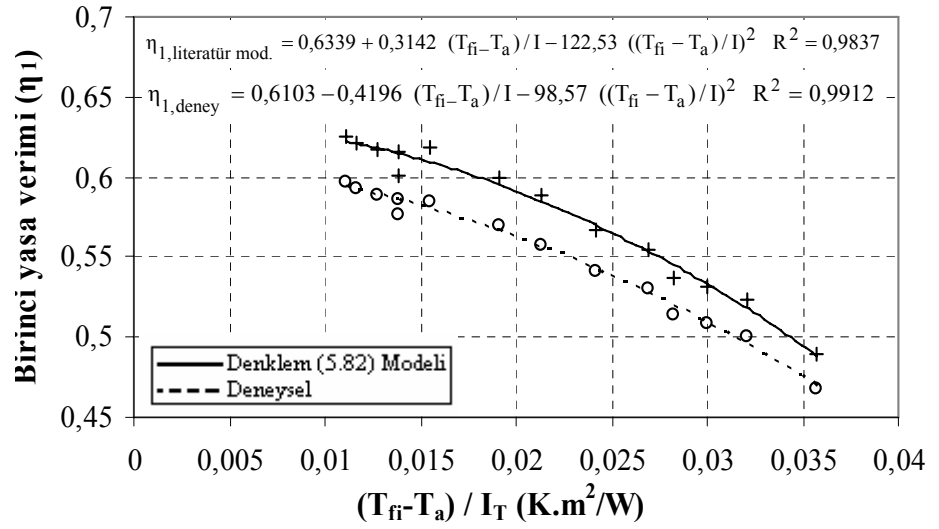
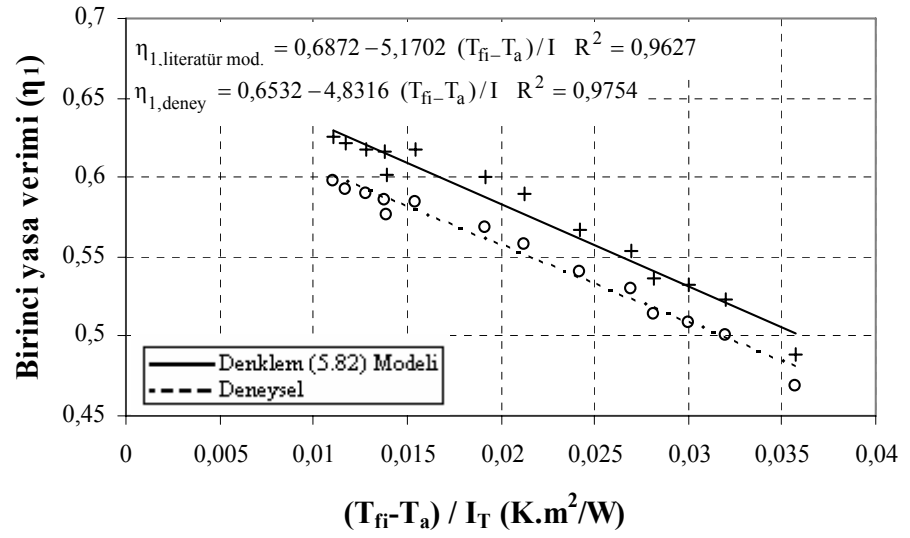
Şekil 7.169. Deney No:15 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)

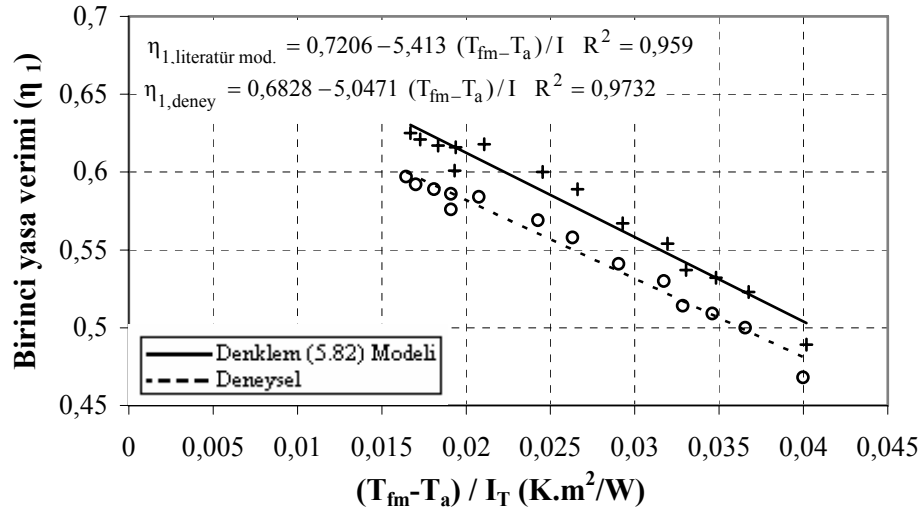


Şekil 7.170. Deney No:15 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)

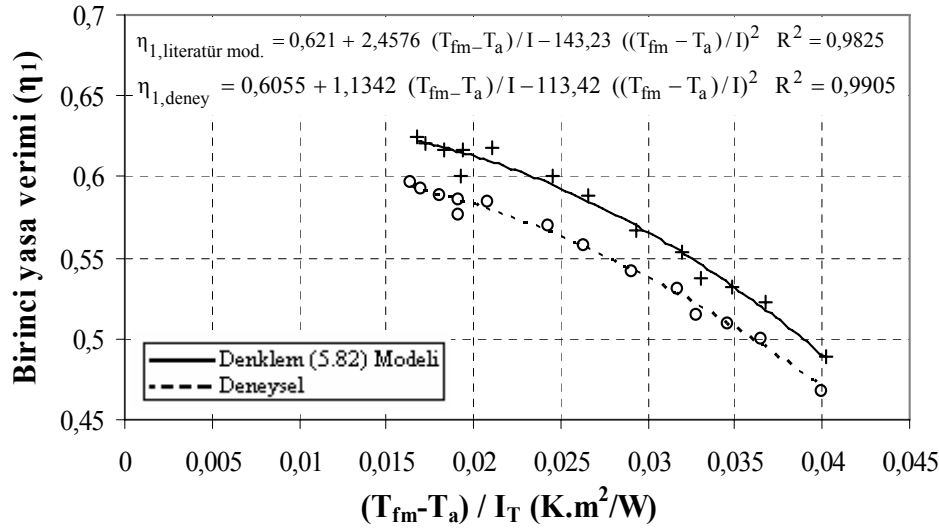


Şekil 7.171. Deney No:15 için cam örtü ve alt levha sıcaklığının literatür matematiksel model sonuçlarına göre kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)





Şekil 7.174. Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:15)



Şekil 7.175. Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:15)

7.5. Tek Hava Kanallı Düzlemsel Kolektörün Deneysel ve Teorik Sonuçları

Bu çalışma kapsamında üçüncü olarak yutucu yüzeyi siyah mat kolektör boyası ile boyanmış düzlemsel levhaya sahip tek hava kanallı kolektörünün deneyleri yapılmıştır. Geniş çalışma parametre aralığında incelemek amacıyla havaya kolektöre girmeden önce kademeli olarak ön ısıtma uygulanmıştır. Deneyler esnasında kanal içindeki hava, cam örtü üzerindeki ve yutucu levha üzerindeki sıcaklıklar kolektör boyunca 0,5 m aralıklarla dakikada bir ölçülmüştür (Şekil 7.176 ve 7.177). Deneyler, $0,025 \text{ kg/sm}^2$, $0,033 \text{ kg/sm}^2$, $0,04 \text{ kg/sm}^2$, $0,048 \text{ kg/sm}^2$ ve $0,055 \text{ kg/sm}^2$ olmak üzere beş farklı debi için yapılmıştır.



Şekil 7.176. Düzlemsel kolektörde hava kanalındaki ve yutucu levha üzerindeki sıcaklık sensörlerinin yerleşimi



Şekil 7.177. Düzlemsel hava akışkanlı güneş kolektörünün cam örtü sıcaklığı ölçümünde kullanılan sensörlerin yerleşimi

Deneylerde kolektör boyunca alt, üst kanaldaki hava ve yutucu levha üzerindeki sıcaklıklar ölçülmüştür. Kolektör boyunca cam örtü, yutucu levha, alt levha, alt ve üst kanaldaki hava sıcaklıkları literatürde Nusselt sayısı için Niles (1978) tarafından verilen denklem 5.75 kullanılarak sonlu farklar metodu ile 0,25 m aralıklarla sayısal olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, deney sonuçları ile karşılaştırılmış ve grafiksel olarak gösterilmiştir.

Model hesaplamalarında düzlemsel hava akışkanlı güneş kolektörünün özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Çizelge 7.20’de düzlemsel güneş kolektörünün teknik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 7.20. Düzlemsel hava akışkanlı güneş kolektörünün teknik özellikleri

Güneş Kolektörü Bileşenleri	Özellikleri
Kasa	0,4 galvaniz sac veya alüminyum
İzolasyon	40 mm kalınlığında poliüretan $k=0,02$ W/mK
Yutucu levha	1000x2000x3 mm Siyaha boyanmış mat yüzey $\epsilon_{ap}=0,92$, $\alpha_{ap}=0,95$
Cam örtü	Düşük demir oksitli 1000x2000x4 mm cam $\epsilon_c=0,18$, $\alpha_c=0,01$, $\tau_c=0,81$
Cam fitili	Yekpare kauçuk (sızma önleyici)
Hava giriş kanalı	1000x 40 mm
Boyutlar	1100x2100x100 mm

Kolektör verim eğrileri akışkan giriş sıcaklığına ve ortalama akışkan sıcaklığına göre birinci ve ikinci derece denklemlerle ifade edilmiştir. Şekil 7.178-7.227’de kolektör boyunca sıcaklık dağılımları ve verim eğrileri grafiksel olarak verilmektedir.

7.5.1 Deney No:16

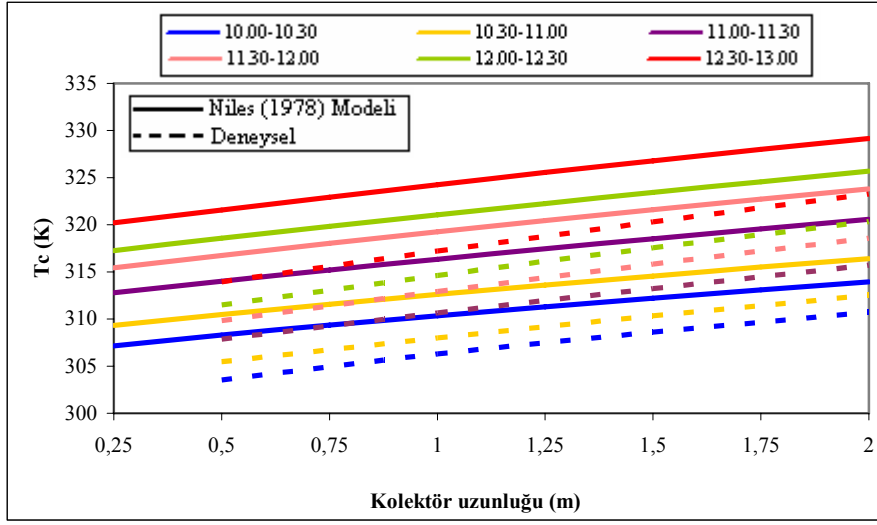
Bu deneylerde kolektörde dolaşan havanın kütleli debisinin $0,025 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda kolektör verim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kolektör çalışma parametresini geniş bir aralıkta incelemek amacıyla hava kolektöre girmeden önce kademeli olarak ön ısıtmaya tabi tutulmuştur. Deneysel olarak ölçülen çevre sıcaklığı, kolektör düzlemine gelen güneş ışıını şiddeti ve giriş sıcaklıklarına göre deneysel ve literatürden alınan Nusselt bağılı teorik olarak bulunan izotermal ve nonizotermal enerji, ekserji verimleri ve hata değerleri Çizelge 7.21’de verilmiştir.

Literatürde düzlemsel yutucu levhaya sahip kolektörler için Niles (1978) tarafından verilen denklem 5.75 kullanılarak sonlu farklar metodu ile kolektör boyunca $0,25 \text{ m}$ aralıklarla hesaplanan kanaldaki hava, yutucu levha ve cam örtü sıcaklıkları, $0,5 \text{ m}$ aralıklarla ölçülen kanaldaki hava, yutucu levha ve cam örtü üzerindeki sıcaklık değerleri ile karşılaştırılmış ve Şekil 7.178-7.183’de verilmiştir.

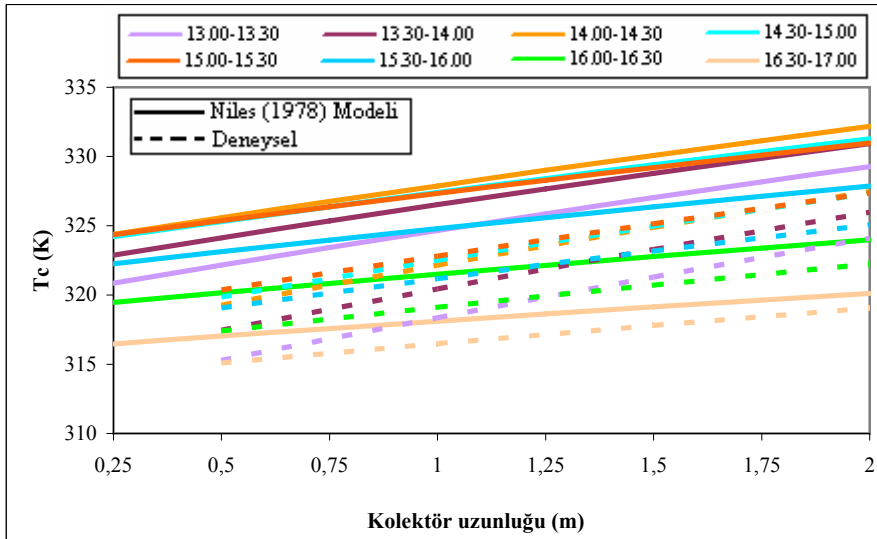
Kolektör verim eğrileri çalışma akışkanının giriş sıcaklığına veya ortalama akışkan sıcaklığına göre oluşturulmaktadır. Çalışma akışkanının kütleli debisinin $0,025 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda literatür modelinden ve deneysel olarak hesaplanan kolektör veriminin giriş sıcaklığına göre doğrusal ve ikinci derece değişimi sırasıyla Şekil 7.184 ve 7.185’de, çalışma akışkanının ortalama sıcaklığına göre doğrusal ve ikinci derece değişimi sırasıyla Şekil 7.186 ve 7.187’de gösterilmektedir. Doğrusal ve ikinci dereceden yaklaşımlar şekillerde verilmektedir.

Çizelge 7.21. Deney No:16 sonuçları

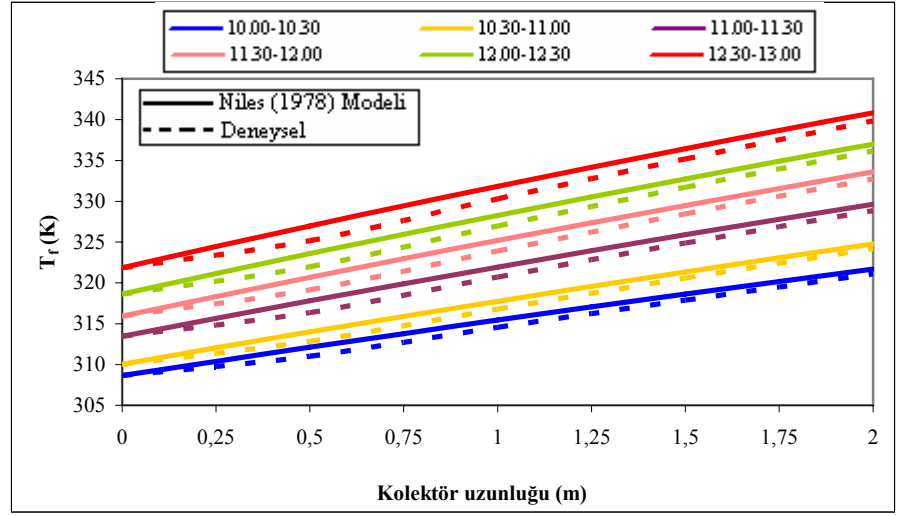
Tarih: 02.09.2008										
Kolektör Alanı:2 m²				Akışkan debisi: 0,025 kg/sm²						
Yutucu Yüzey: Siyaha boyanmış yüzey				Üst örtü: Düşük demir oksitli cam						
Kolektör Tipi: Tek hava kanallı düzlemsel				Kolektör Eğimi: 40°						
İzotermal model										
Zaman	T _a (K)	I (W/m ²)	V _w (m/s)	T _{fi} (K)	η _I Liter. Mod.	η _I Den.	Den. Hata ±	η _{II} Liter. Mod.	η _{II} Den.	Den. Hata ±
10.00 - 10.30	301,08	627,45	0,4	308,64	0,754	0,731	0,00171	0,135	0,109	0,0038
10.30 - 11.00	302,1	705,88	0,59	310,02	0,756	0,735	0,00186	0,147	0,12	0,0037
11.00 - 11.30	302,17	784,31	0,41	313,45	0,75	0,724	0,00204	0,161	0,131	0,0035
11.30 - 12.00	302,7	862,74	0,43	315,93	0,746	0,721	0,00219	0,172	0,142	0,0033
12.00 - 12.30	302,84	921,56	0,58	318,64	0,732	0,709	0,00226	0,179	0,148	0,0032
12.30 - 13.00	303	960,78	0,42	321,87	0,727	0,701	0,00234	0,185	0,153	0,003
13.00 - 13.30	303,12	1000	0,73	324,41	0,708	0,686	0,00233	0,186	0,155	0,0029
13.30 - 14.00	303,64	980,39	0,67	327,78	0,694	0,67	0,00225	0,183	0,152	0,0028
14.00 - 14.30	304,02	960,78	0,61	330,24	0,684	0,659	0,00219	0,18	0,15	0,0027
14.30 - 15.00	304,29	901,96	0,62	331,33	0,671	0,646	0,00207	0,171	0,142	0,0026
15.00 - 15.30	304,56	843,13	0,53	331,89	0,665	0,638	0,00196	0,163	0,135	0,0026
15.30 - 16.00	305	745,09	0,6	330,26	0,658	0,627	0,00178	0,148	0,122	0,0027
16.00 - 16.30	305,12	647,05	0,78	328,12	0,641	0,613	0,00159	0,131	0,108	0,0027
16.30 - 17.00	304,89	549,01	0,89	325,11	0,629	0,601	0,00144	0,114	0,093	0,004
Nonizotermal model										
Zaman	η _I Liter. Mod.	η _I Den.	Den. Hata ±	η _{II} Liter. Mod.	η _{II} Den.	Den. Hata ±	η _{II} Liter. Mod.	η _{II} Den.	Den. Hata ±	
				Metot I			Metot II			
10.00 - 10.30	0,523	0,5	0,00478	0,02458	0,02303	0,005	0,02502	0,02344	0,0047	
10.30 - 11.00	0,526	0,505	0,0047	0,02662	0,02509	0,00492	0,0271	0,02554	0,0046	
11.00 - 11.30	0,52	0,494	0,00455	0,0329	0,03064	0,00472	0,03349	0,0312	0,0044	
11.30 - 12.00	0,515	0,491	0,00444	0,03675	0,03442	0,00457	0,03741	0,03504	0,0043	
12.00 - 12.30	0,501	0,479	0,00427	0,04014	0,03775	0,00436	0,04087	0,03843	0,0041	
12.30 - 13.00	0,497	0,471	0,00417	0,04467	0,04167	0,00422	0,04548	0,04242	0,0039	
13.00 - 13.30	0,477	0,456	0,00396	0,04625	0,0436	0,00399	0,04708	0,04438	0,0037	
13.30 - 14.00	0,463	0,44	0,00381	0,04799	0,04498	0,00381	0,04886	0,04579	0,0036	
14.00 - 14.30	0,453	0,429	0,00369	0,0491	0,04588	0,00368	0,04999	0,04671	0,0034	
14.30 - 15.00	0,441	0,416	0,0036	0,04776	0,04456	0,00358	0,04863	0,04537	0,0033	
15.00 - 15.30	0,435	0,407	0,00356	0,04673	0,04322	0,00354	0,04758	0,04401	0,0033	
15.30 - 16.00	0,427	0,397	0,00354	0,04222	0,03871	0,00353	0,04298	0,03941	0,0033	
16.00 - 16.30	0,411	0,383	0,00348	0,03672	0,03382	0,00349	0,03739	0,03443	0,0033	
16.30 - 17.00	0,399	0,37	0,0035	0,03134	0,02877	0,00352	0,03191	0,02929	0,0033	



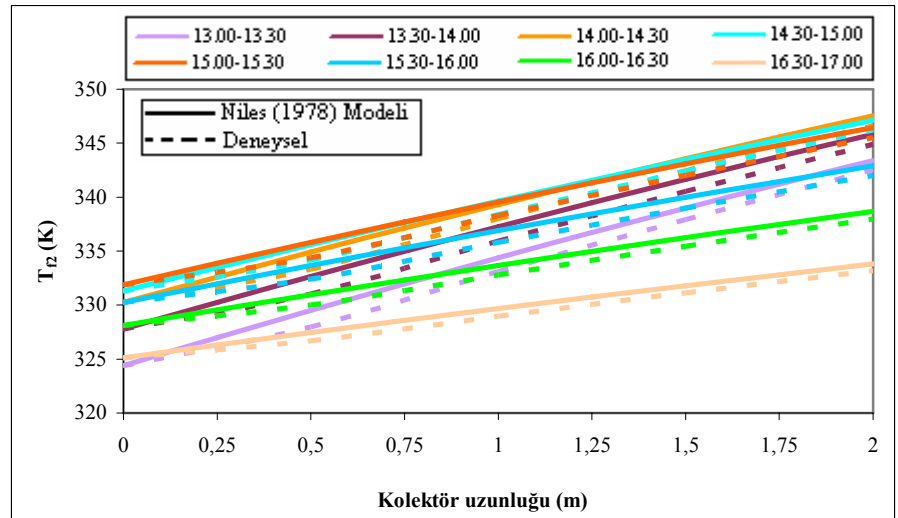
Şekil 7.178. Deney No:16 için cam örtü sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)



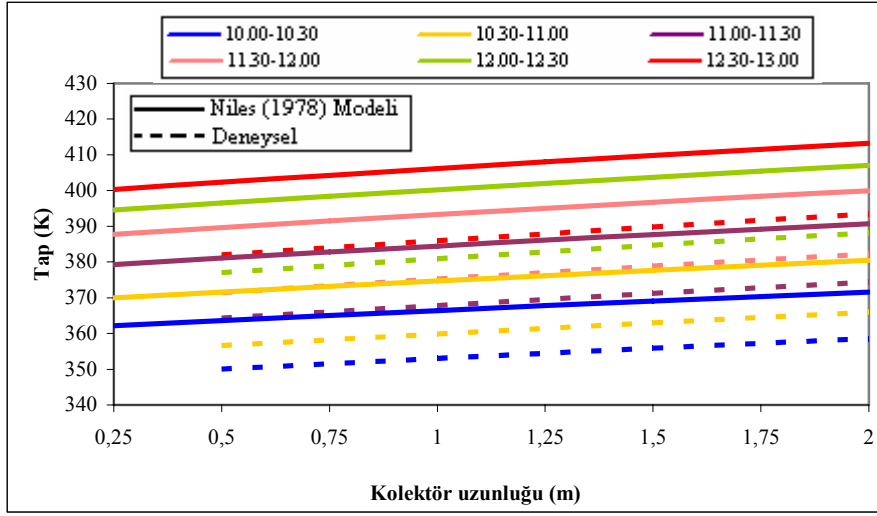
Şekil 7.179. Deney No:16 için cam örtü sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



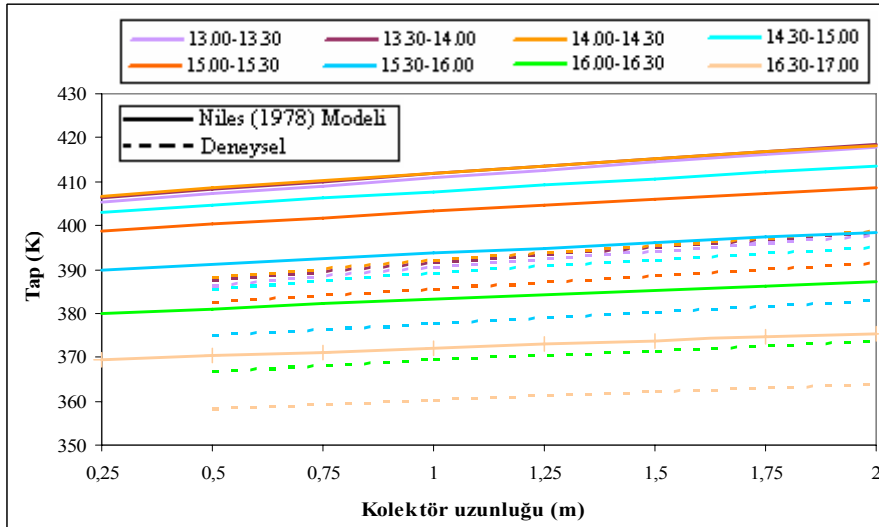
Şekil 7.180. Deney No:16 için kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)



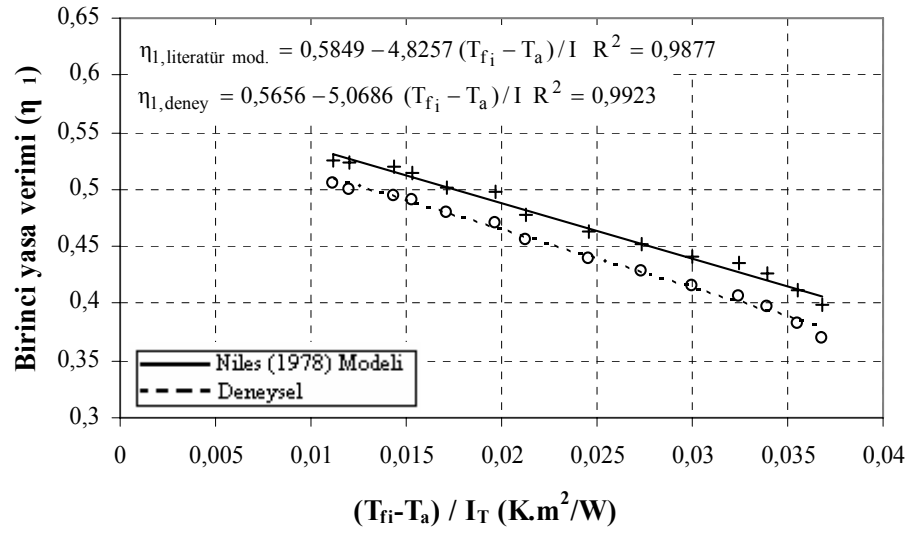
Şekil 7.181. Deney No:16 için kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



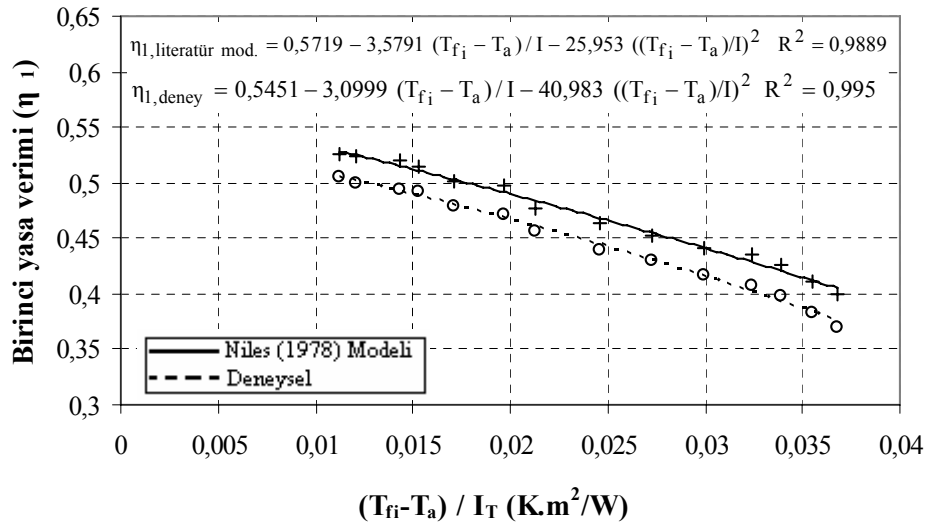
Şekil 7.182. Deney No:16 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)



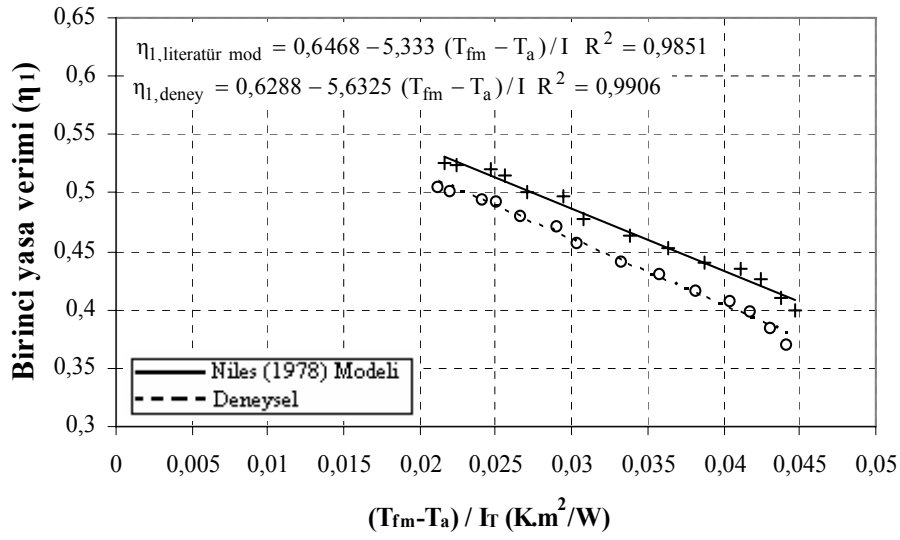
Şekil 7.183. Deney No:16 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



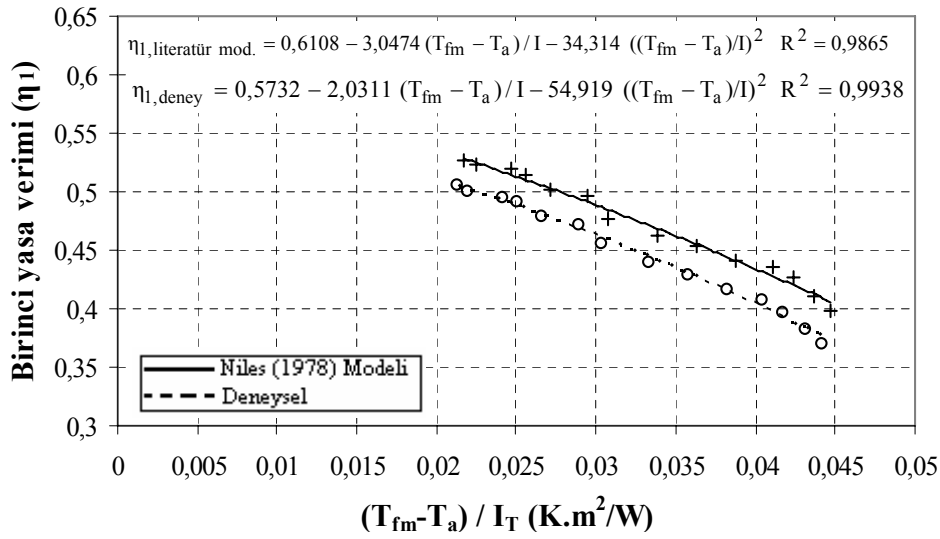
Şekil 7.184. Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:16)



Şekil 7.185. Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:16)



Şekil 7.186. Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:16)



Şekil 7.187. Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:16)

7.5.2 Deney No:17

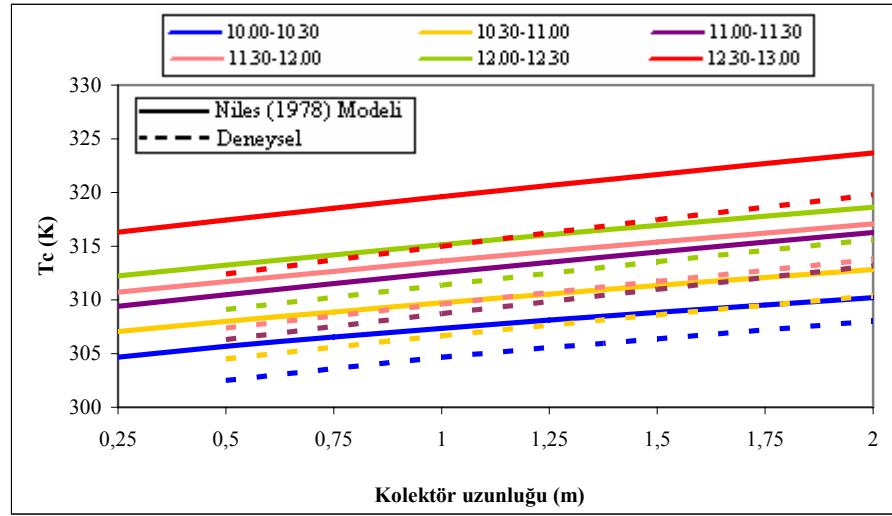
Bu deneylerde kolektörde dolaşan havanın kütleli debisinin $0,033 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda kolektör verim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kolektör çalışma parametresini geniş bir aralıkta incelemek amacıyla hava kolektöre girmeden önce kademeli olarak ön ısıtmaya tabi tutulmuştur. Deneyisel olarak ölçülen çevre sıcaklığı, kolektör düzlemine gelen güneş ışıması şiddeti ve giriş sıcaklıklarına göre deneyisel ve literatürden alınan Nusselt sayısına bağlı teorik olarak bulunan izotermal ve nonizotermal enerji, ekserji verimleri ve hata değerleri Çizelge 7.22’de verilmiştir.

Literatürde düzlemsel yutucu levhaya sahip kolektörler için Niles (1978) tarafından verilen denklem 5.75 kullanılarak sonlu farklar metodu ile kolektör boyunca $0,25 \text{ m}$ aralıklarla hesaplanan kanaldaki hava, yutucu levha ve cam örtü sıcaklıkları, $0,5 \text{ m}$ aralıklarla ölçülen kanaldaki hava, yutucu levha ve cam örtü üzerindeki sıcaklık değerleri ile karşılaştırılmış ve Şekil 7.188-7.193’de verilmiştir.

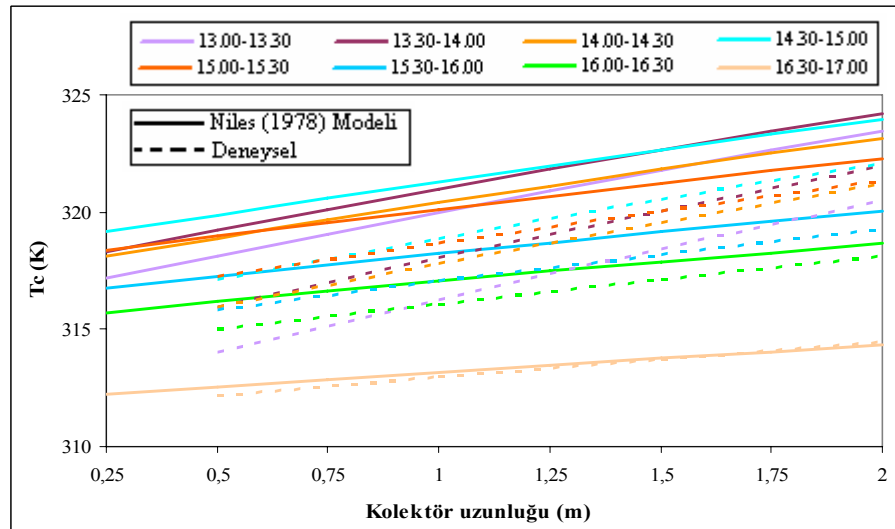
Kolektör verim eğrileri çalışma akışkanının giriş sıcaklığına veya ortalama akışkan sıcaklığına göre oluşturulmaktadır. Çalışma akışkanının kütleli debisinin $0,033 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda literatür modelinden ve deneyisel olarak hesaplanan kolektör veriminin giriş sıcaklığına göre doğrusal ve ikinci derece değişimi sırasıyla Şekil 7.194 ve 7.195’de, çalışma akışkanının ortalama sıcaklığına göre doğrusal ve ikinci derece değişimi sırasıyla Şekil 7.196 ve 7.197’de gösterilmektedir. Doğrusal ve ikinci dereceden yaklaşımlar şekillerde verilmektedir.

Çizelge 7.22. Deney No:17 sonuçları

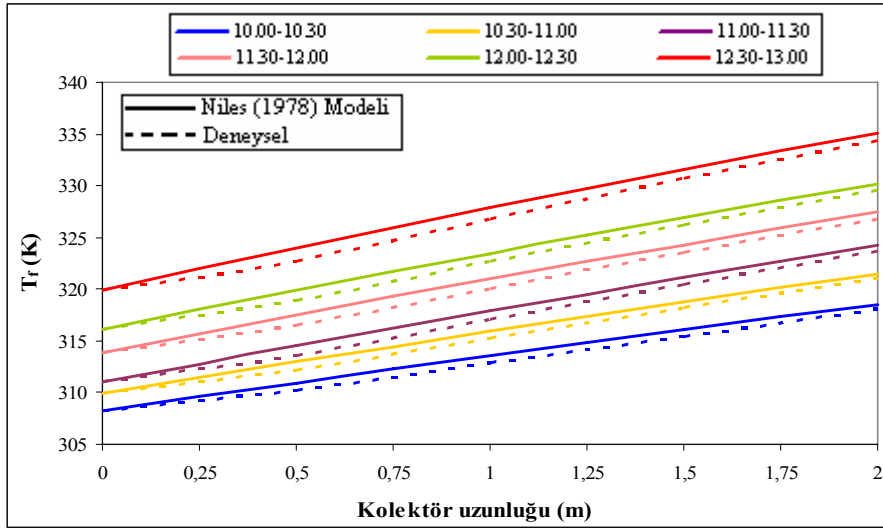
Tarih: 04.09.2008										
Kolektör Alanı:2 m²				Akışkan debisi: 0,033 kg/sm²						
Yutucu Yüzey: Siyaha boyanmış yüzey				Üst örtü: Düşük demir oksitli cam						
Kolektör Tipi: Tek hava kanallı düzlemsel				Kolektör Eğimi: 40°						
İzotermal model										
Zaman	T _a (K)	I (W/m ²)	V _w (m/s)	T _{fi} (K)	η _i Liter. Mod.	η _i Den.	Den. Hata ±	η _{ii} Liter. Mod.	η _{ii} Den.	Den. Hata ±
10.00 - 10.30	299,82	647,05	0,92	308,26	0,757	0,731	0,00119	0,123	0,104	0,0034
10.30 - 11.00	300,76	725,49	0,96	309,87	0,763	0,741	0,0013	0,136	0,114	0,0033
11.00 - 11.30	301,19	803,92	0,57	311,02	0,778	0,756	0,00145	0,15	0,127	0,0032
11.30 - 12.00	301,25	862,74	1,05	313,87	0,755	0,729	0,00146	0,156	0,131	0,0029
12.00 - 12.30	301,29	911,76	1,12	316,12	0,744	0,723	0,00153	0,162	0,138	0,0028
12.30 - 13.00	302,01	980,39	0,73	319,93	0,746	0,721	0,00162	0,173	0,147	0,0026
13.00 - 13.30	302,1	1000	1,27	324,06	0,709	0,686	0,00159	0,17	0,146	0,0023
13.30 - 14.00	302,44	970,58	1,28	326,56	0,692	0,673	0,00156	0,165	0,142	0,0023
14.00 - 14.30	302,59	921,56	1,53	328,21	0,669	0,644	0,0015	0,156	0,133	0,0022
14.30 - 15.00	302,78	882,35	1,4	330,06	0,655	0,627	0,00148	0,151	0,128	0,0021
15.00 - 15.30	302,96	803,92	1,62	330,79	0,627	0,601	0,00145	0,137	0,117	0,002
15.30 - 16.00	303,01	745,09	1,94	329,87	0,61	0,579	0,00145	0,127	0,107	0,002
16.00 - 16.30	303,58	647,05	1,76	327,46	0,608	0,579	0,00137	0,114	0,096	0,0022
16.30 – 17.00	303,16	529,41	2,21	323,77	0,580	0,552	0,00137	0,093	0,079	0,0036
Nonizotermal model										
Zaman	η _i Liter. Mod.	η _i Den.	Den. Hata ±	η _{ii} Liter. Mod.	η _{ii} Den.	Den. Hata ±	η _{ii} Liter. Mod.	η _{ii} Den.	Den. Hata ±	
Metot I						Metot II				
10.00 - 10.30	0,526	0,501	0,00357	0,02396	0,02239	0,003805	0,02439	0,02279	0,0035	
10.30 - 11.00	0,533	0,511	0,00354	0,02648	0,025	0,003779	0,02695	0,02545	0,0034	
11.00 - 11.30	0,548	0,526	0,00356	0,02982	0,02819	0,003806	0,03035	0,0287	0,0035	
11.30 - 12.00	0,525	0,499	0,00332	0,03346	0,03127	0,003526	0,03406	0,03183	0,0032	
12.00 - 12.30	0,514	0,493	0,00323	0,03656	0,03466	0,003417	0,03722	0,03528	0,0031	
12.30 - 13.00	0,515	0,491	0,00315	0,0422	0,03969	0,003308	0,04296	0,0404	0,003	
13.00 - 13.30	0,478	0,456	0,00289	0,04432	0,04178	0,003006	0,04512	0,04253	0,0027	
13.30 - 14.00	0,461	0,443	0,0028	0,04498	0,0428	0,002895	0,04579	0,04357	0,0026	
14.00 - 14.30	0,438	0,414	0,00264	0,04378	0,04094	0,002708	0,04457	0,04168	0,0024	
14.30 - 15.00	0,425	0,397	0,00254	0,04388	0,04059	0,00259	0,04467	0,04132	0,0023	
15.00 - 15.30	0,397	0,371	0,00242	0,04065	0,03766	0,002447	0,04139	0,03833	0,0022	
15.30 - 16.00	0,379	0,349	0,00233	0,03719	0,03388	0,002344	0,03786	0,03449	0,0021	
16.00 - 16.30	0,378	0,348	0,00243	0,03315	0,03024	0,002434	0,03375	0,03079	0,0022	
16.30 – 17.00	0,35	0,321	0,00244	0,02644	0,02404	0,002393	0,02691	0,02447	0,0022	



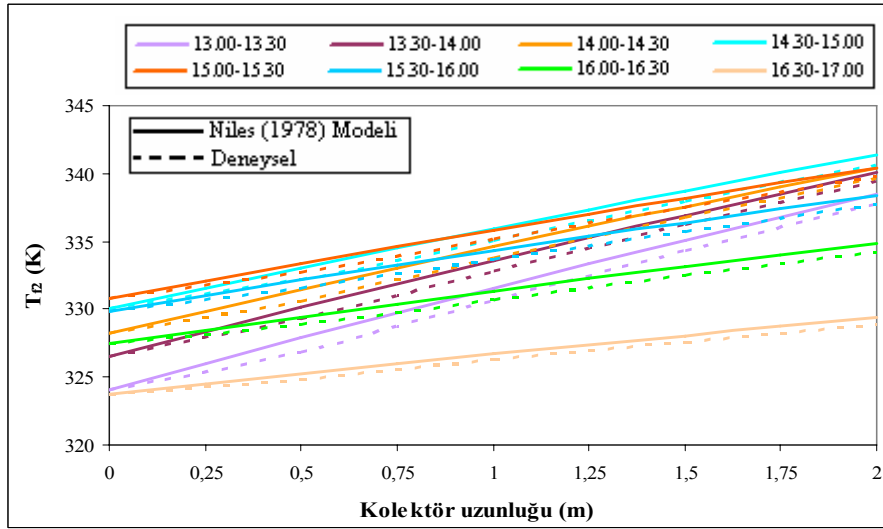
Şekil 7.188. Deney No:17 için cam örtü sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)



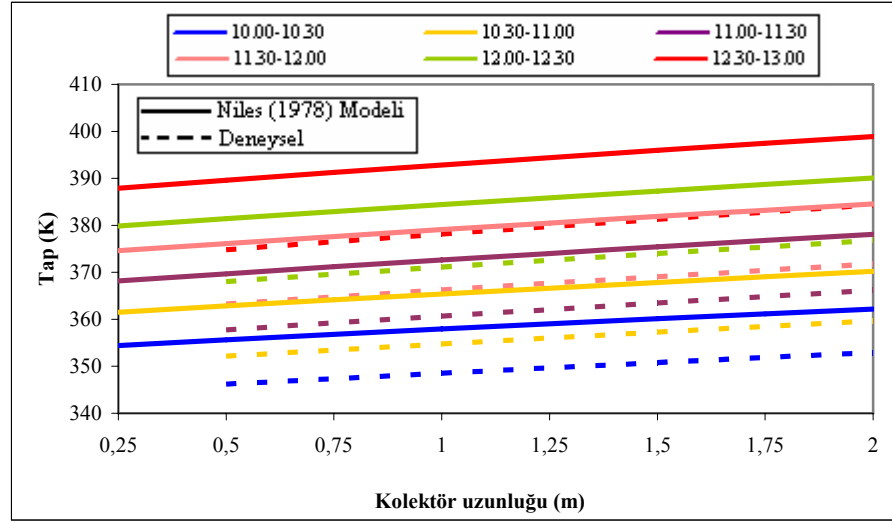
Şekil 7.189. Deney No:17 için cam örtü sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



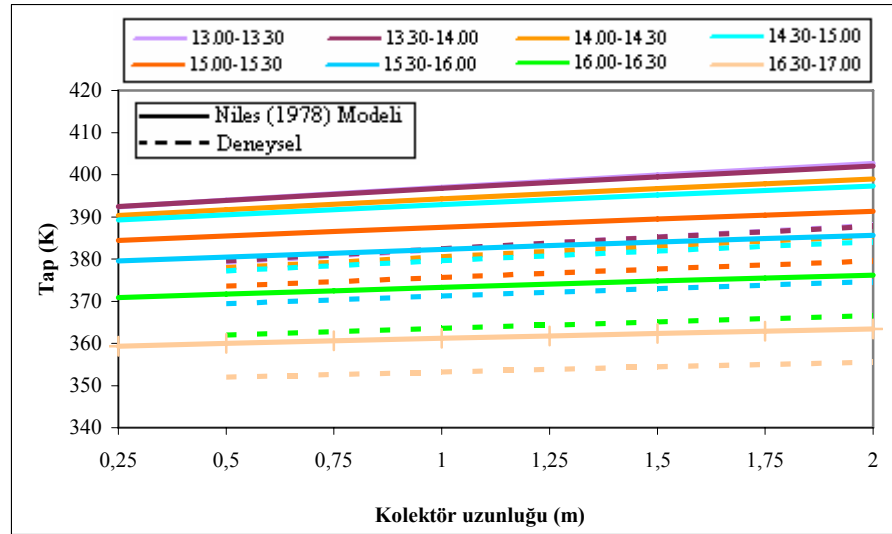
Şekil 7.190. Deney No:17 için kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)



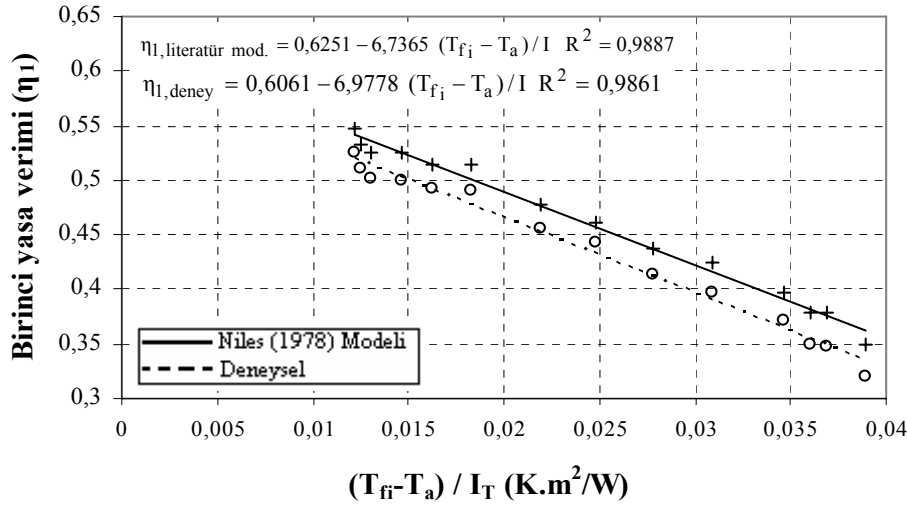
Şekil 7.191. Deney No:17 için kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



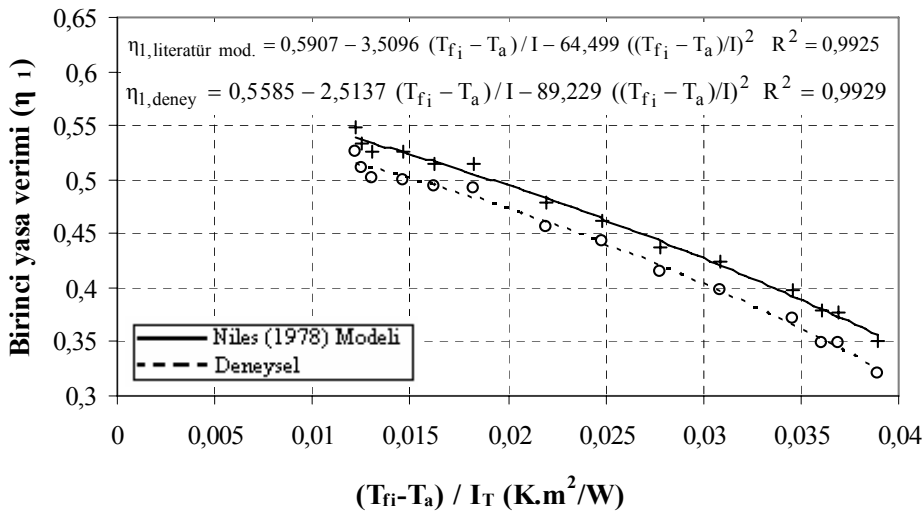
Şekil 7.192. Deney No:17 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)



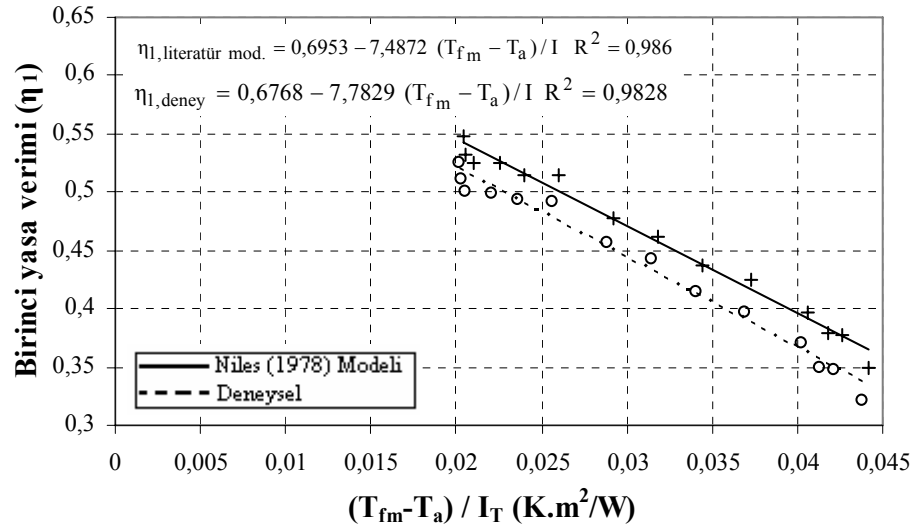
Şekil 7.193. Deney No:17 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



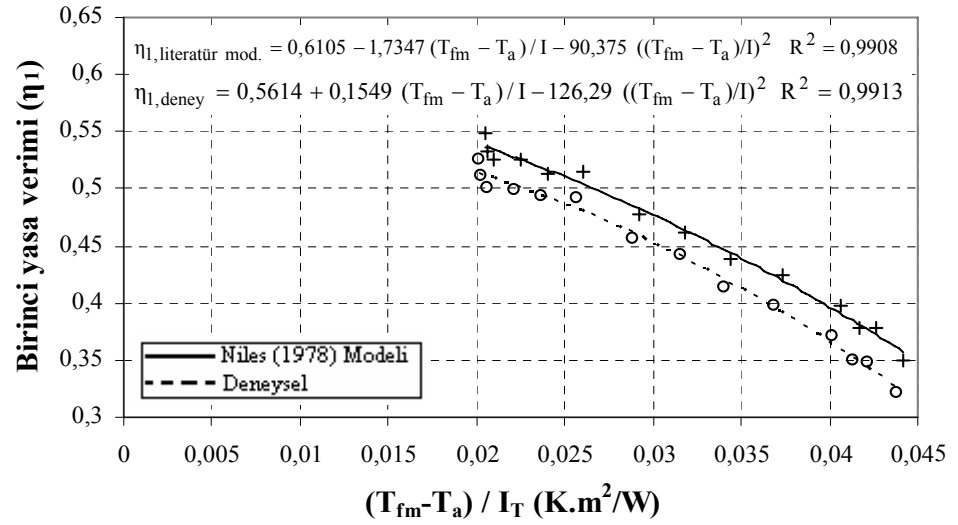
Şekil 7.194. Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:17)



Şekil 7.195. Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:17)



Şekil 7.196. Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:17)



Şekil 7.197. Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:17)

7.5.3 Deney No:18

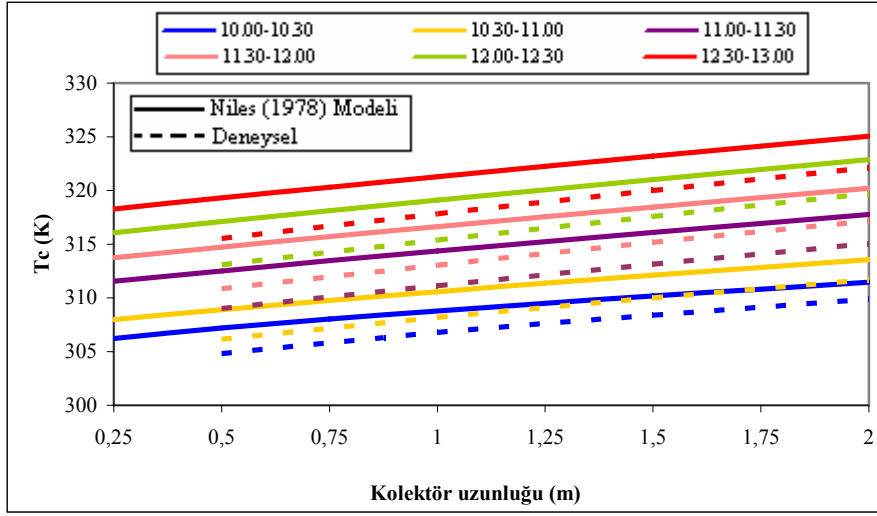
Bu deneylerde kolektörde dolaşan havanın kütleli debisinin $0,04 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda kolektör verim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kolektör çalışma parametresini geniş bir aralıkta incelemek amacıyla hava kolektöre girmeden önce kademeli olarak ön ısıtmaya tabi tutulmuştur. Deneysel olarak ölçülen çevre sıcaklığı, kolektör düzlemine gelen güneş ışınlama şiddeti ve giriş sıcaklıklarına göre deneysel ve literatürden alınan Nusselt sayısına bağlı teorik olarak bulunan izotermal ve nonizotermal enerji, ekserji verimleri ve hata değerleri Çizelge 7.23’de verilmiştir.

Literatürde düzlemsel yutucu levhaya sahip kolektörler için Niles (1978) tarafından verilen denklem 5.75 kullanılarak sonlu farklar metodu ile kolektör boyunca $0,25 \text{ m}$ aralıklarla hesaplanan kanaldaki hava, yutucu levha ve cam örtü sıcaklıkları, $0,5 \text{ m}$ aralıklarla ölçülen kanaldaki hava, yutucu levha ve cam örtü üzerindeki sıcaklık değerleri ile karşılaştırılmış ve Şekil 7.198-7.203’de verilmiştir.

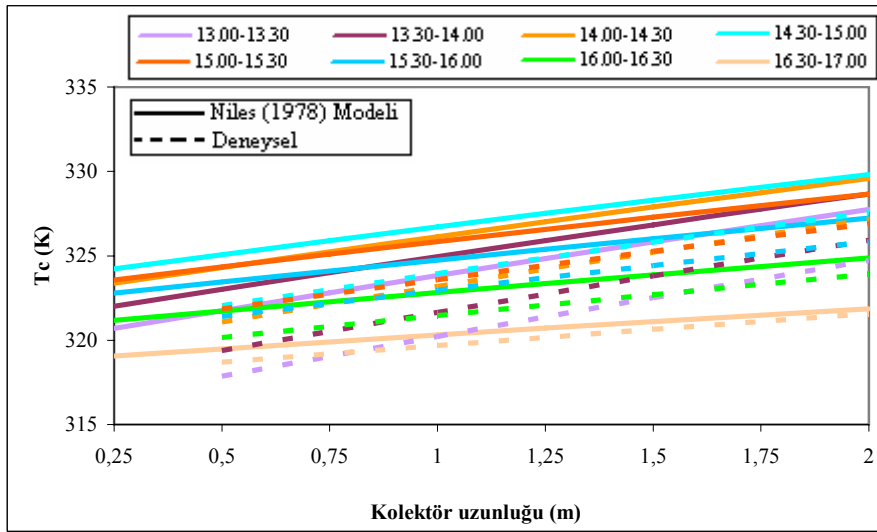
Kolektör verim eğrileri çalışma akışkanının giriş sıcaklığına veya ortalama akışkan sıcaklığına göre oluşturulmaktadır. Çalışma akışkanının kütleli debisinin $0,04 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda literatür modelinden ve deneysel olarak hesaplanan kolektör veriminin giriş sıcaklığına göre doğrusal ve ikinci derece değişimi sırasıyla Şekil 7.204 ve 7.205’de, çalışma akışkanının ortalama sıcaklığına göre doğrusal ve ikinci derece değişimi sırasıyla Şekil 7.206 ve 7.207’de gösterilmektedir. Doğrusal ve ikinci dereceden yaklaşımlar şekillerde verilmektedir.

Çizelge 7.23. Deney No:18 sonuçları

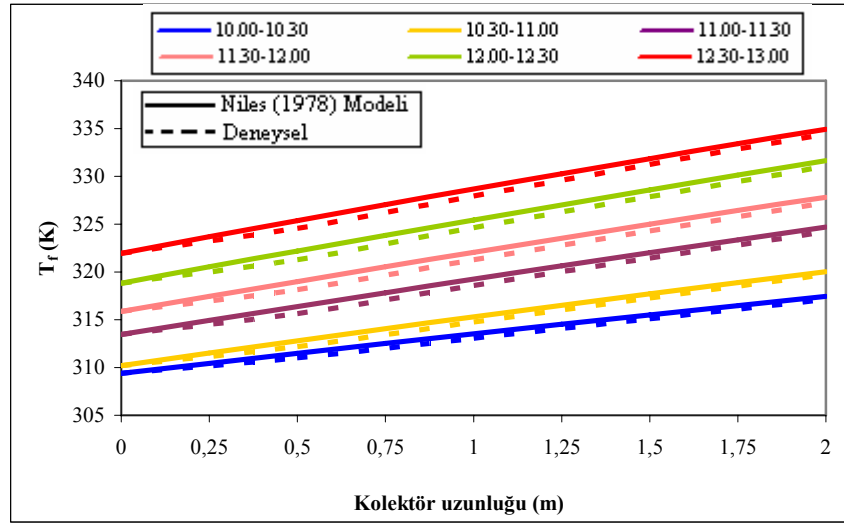
Tarih: 06.09.2008										
Kolektör Alanı:2 m²				Akışkan debisi: 0,04 kg/sm²						
Yutucu Yüzey: Siyaha boyanmış yüzey				Üst örtü: Düşük demir oksitli cam						
Kolektör Tipi: Tek hava kanallı düzlemsel				Kolektör Eğimi: 40°						
İzotermal model										
Zaman	T _a (K)	I (W/m ²)	V _w (m/s)	T _{fi} (K)	η _I Liter. Mod.	η _{II} Den.	Den. Hata ±	η _{II} Liter. Mod.	η _{III} Den.	Den. Hata ±
10.00 - 10.30	302,15	588,23	0,43	309,41	0,78	0,756	0,00094	0,106	0,09	0,0037
10.30 - 11.00	302,6	705,88	0,64	310,21	0,791	0,773	0,00109	0,123	0,107	0,0036
11.00 - 11.30	303,23	803,92	0,46	313,45	0,793	0,769	0,00119	0,14	0,121	0,0033
11.30 - 12.00	303,44	862,74	0,44	315,87	0,789	0,761	0,00125	0,149	0,128	0,003
12.00 - 12.30	303,6	941,17	0,52	318,83	0,778	0,752	0,00131	0,159	0,138	0,0028
12.30 - 13.00	304,11	980,39	0,61	321,96	0,764	0,742	0,00134	0,163	0,143	0,0026
13.00 - 13.30	304,45	1000	0,43	324,53	0,762	0,739	0,00136	0,168	0,146	0,0025
13.30 - 14.00	304,8	1000	0,56	327,12	0,744	0,722	0,00134	0,166	0,145	0,0024
14.00 - 14.30	305,16	960,78	0,54	329,54	0,729	0,706	0,00129	0,161	0,141	0,0023
14.30 - 15.00	305,47	921,56	0,63	331,79	0,708	0,681	0,00125	0,155	0,134	0,0022
15.00 - 15.30	305,65	852,94	0,61	331,31	0,7	0,675	0,0012	0,146	0,127	0,0023
15.30 - 16.00	305,74	764,7	0,58	330,86	0,687	0,66	0,00115	0,134	0,116	0,0024
16.00 - 16.30	305,89	686,27	0,74	329,75	0,667	0,64	0,00112	0,121	0,104	0,0024
16.30 – 17.00	305,41	568,62	0,79	328,13	0,631	0,606	0,00114	0,102	0,088	0,0039
Nonizotermal model										
Zaman	η _I Liter. Mod.	η _I Den.	Den. Hata ±	η _{II} Liter. Mod.	η _{II} Den.	Den. Hata ±	η _{II} Liter. Mod.	η _{II} Den.	Den. Hata ±	
				Metot I			Metot II			
10.00 - 10.30	0,55	0,526	0,00339	0,02083	0,01962	0,00362	0,0212	0,01998	0,0033	
10.30 - 11.00	0,561	0,543	0,00328	0,02346	0,02242	0,00356	0,02388	0,02282	0,00322	
11.00 - 11.30	0,563	0,539	0,00313	0,02939	0,02773	0,0034	0,02992	0,02823	0,00305	
11.30 - 12.00	0,558	0,531	0,00302	0,03358	0,03148	0,00327	0,03419	0,03205	0,00292	
12.00 - 12.30	0,548	0,522	0,00289	0,03832	0,03605	0,00313	0,03901	0,03671	0,00278	
12.30 - 13.00	0,533	0,512	0,00279	0,04159	0,03953	0,003	0,04234	0,04024	0,00266	
13.00 - 13.30	0,532	0,509	0,00274	0,0451	0,04273	0,00294	0,04591	0,0435	0,0026	
13.30 - 14.00	0,514	0,492	0,00264	0,04658	0,04418	0,00281	0,04743	0,04499	0,00248	
14.00 - 14.30	0,499	0,476	0,00256	0,04752	0,04495	0,0027	0,04838	0,04577	0,00239	
14.30 - 15.00	0,477	0,451	0,00245	0,0474	0,04437	0,00255	0,04827	0,04518	0,00226	
15.00 - 15.30	0,47	0,445	0,00247	0,04507	0,04238	0,00256	0,04589	0,04315	0,00227	
15.30 - 16.00	0,456	0,43	0,00247	0,04225	0,0395	0,00253	0,04302	0,04022	0,00226	
16.00 - 16.30	0,437	0,409	0,00245	0,03807	0,03539	0,00248	0,03877	0,03604	0,00223	
16.30 – 17.00	0,401	0,376	0,00246	0,03263	0,03042	0,00241	0,03322	0,03097	0,00219	



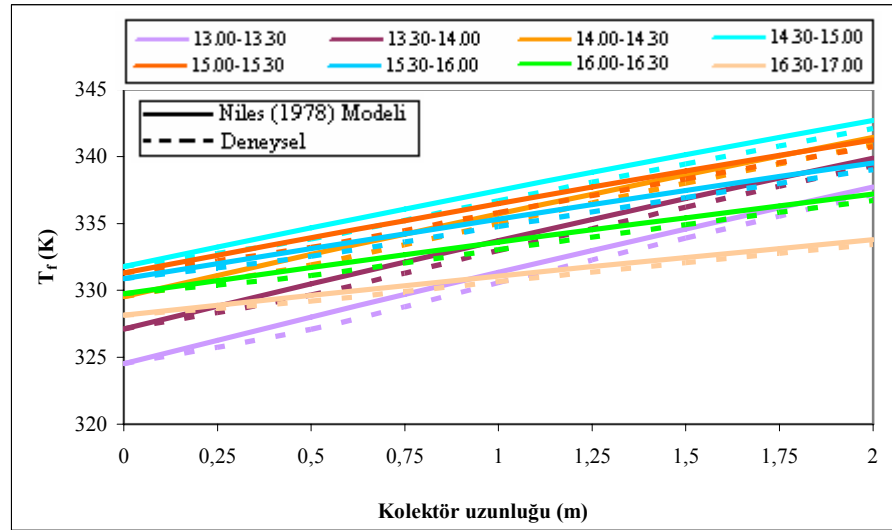
Şekil 7.198. Deney No:18 için cam örtü sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)



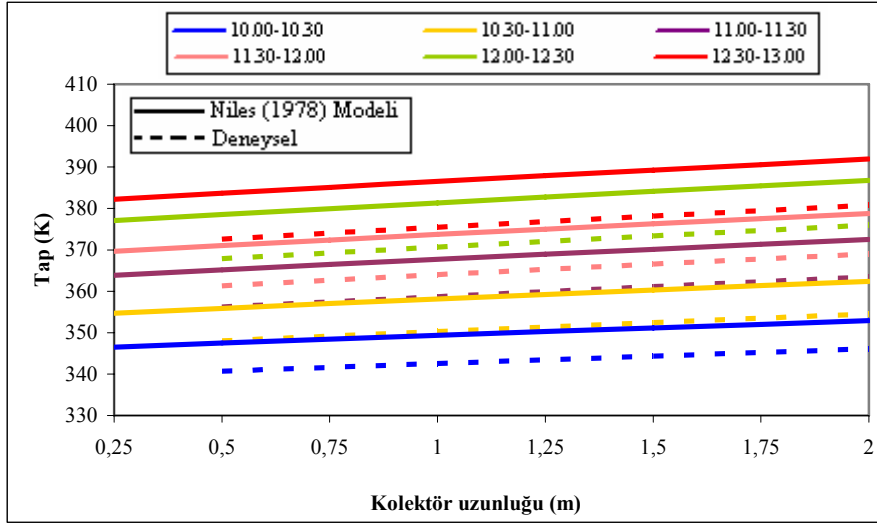
Şekil 7.199. Deney No:18 için cam örtü sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



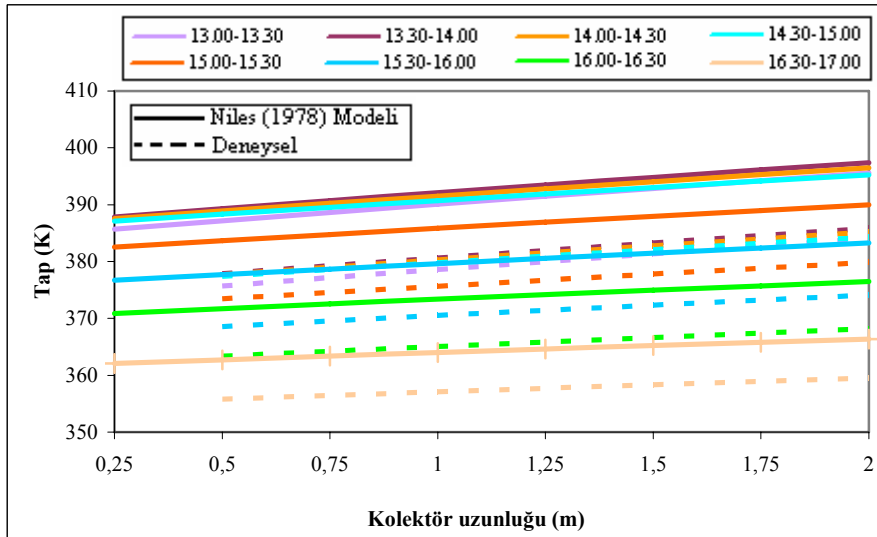
Şekil 7.200. Deney No:18 için kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)



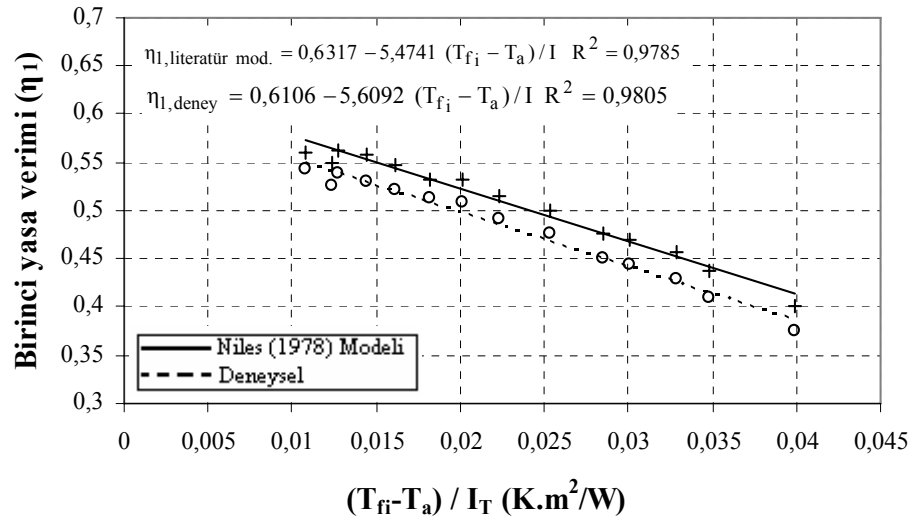
Şekil 7.201. Deney No:18 için kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



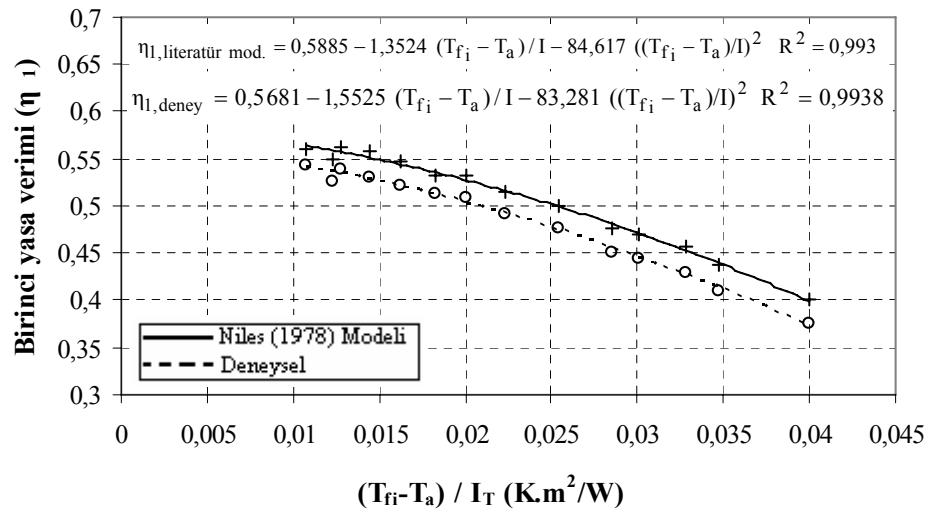
Şekil 7.202. Deney No:18 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)



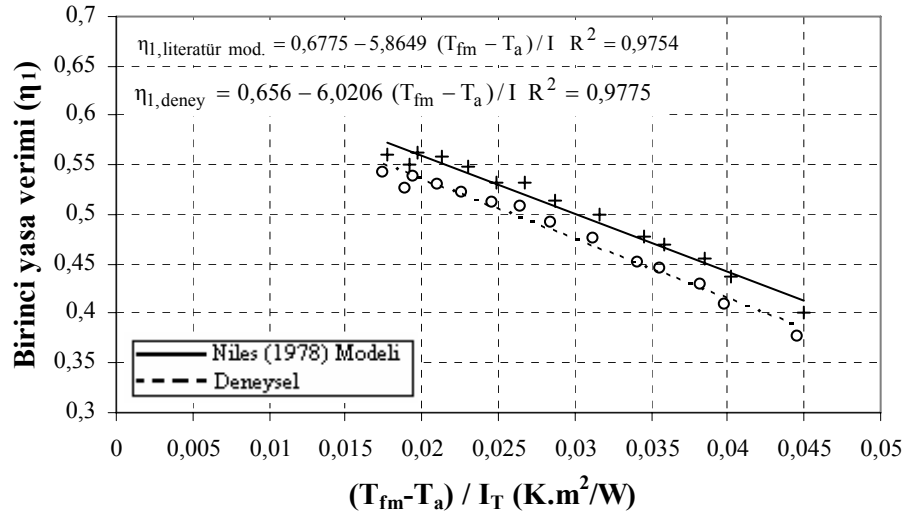
Şekil 7.203. Deney No:18 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



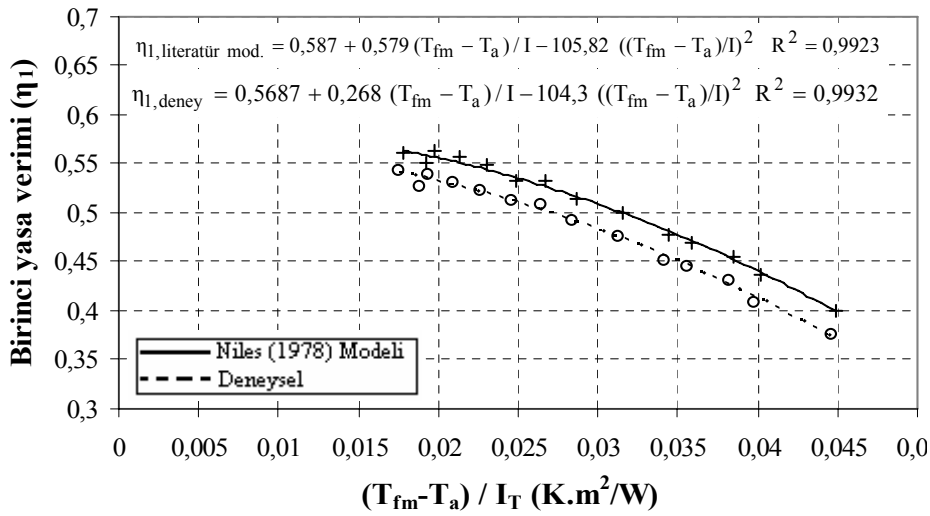
Şekil 7.204. Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:18)



Şekil 7.205. Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:18)



Şekil 7.206. Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:18)



Şekil 7.207. Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:18)

7.5.4 Deney No:19

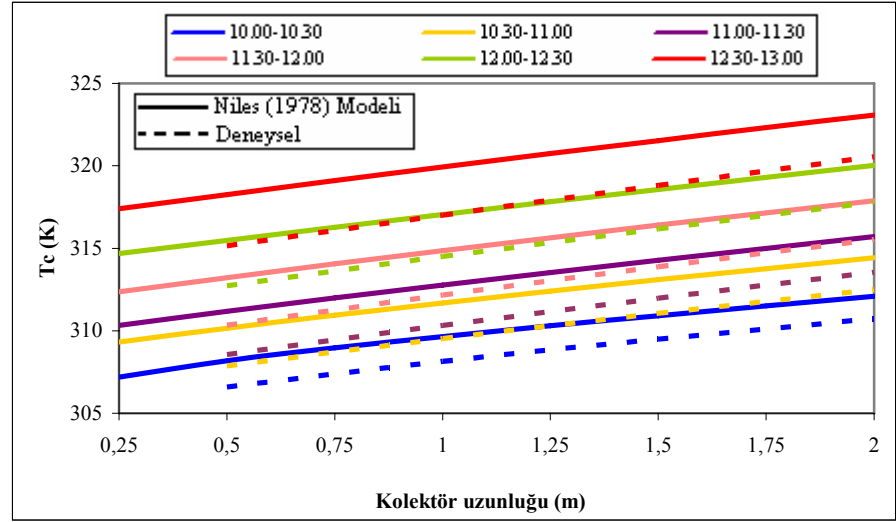
Bu deneylerde kolektörde dolaşan havanın kütleli debisinin $0,048 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda kolektör verim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kolektör çalışma parametresini geniş bir aralıkta incelemek amacıyla hava kolektöre girmeden önce kademeli olarak ön ısıtmaya tabi tutulmuştur. Deneysel olarak ölçülen çevre sıcaklığı, kolektör düzlemine gelen güneş ışınımı şiddeti ve giriş sıcaklıklarına göre deneysel ve literatürden alınan Nusselt sayısına bağlı teorik olarak bulunan izotermal ve nonizotermal enerji, ekserji verimleri ve hata değerleri Çizelge 7.24’de verilmiştir.

Literatürde düzlemsel yutucu levhaya sahip kolektörler için Niles (1978) tarafından verilen denklem 5.75 kullanılarak sonlu farklar metodu ile kolektör boyunca $0,25 \text{ m}$ aralıklarla hesaplanan kanaldaki hava, yutucu levha ve cam örtü sıcaklıkları, $0,5 \text{ m}$ aralıklarla ölçülen kanaldaki hava, yutucu levha ve cam örtü üzerindeki sıcaklık değerleri ile karşılaştırılmış ve Şekil 7.208-7.213’de verilmiştir.

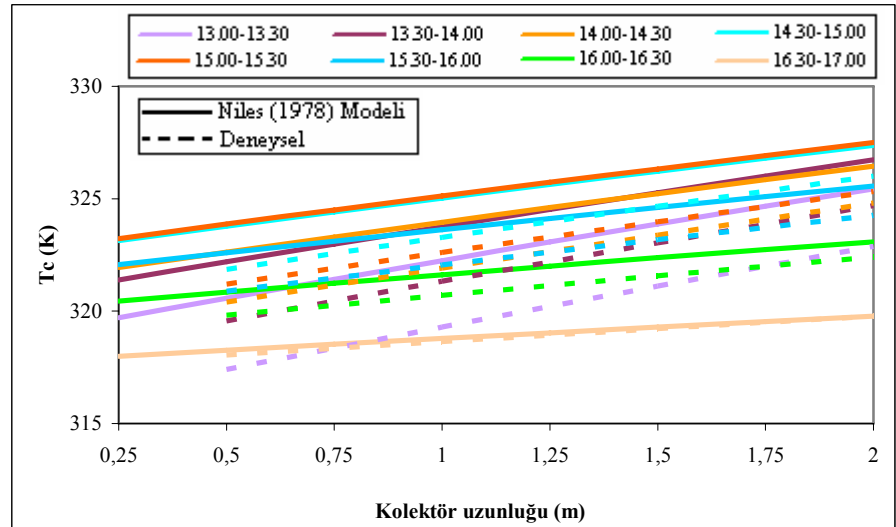
Kolektör verim eğrileri çalışma akışkanının giriş sıcaklığına veya ortalama akışkan sıcaklığına göre oluşturulmaktadır. Çalışma akışkanının kütleli debisinin $0,048 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda literatür modelinden ve deneysel olarak hesaplanan kolektör veriminin giriş sıcaklığına göre doğrusal ve ikinci derece değişimi sırasıyla Şekil 7.214 ve 7.215’de, çalışma akışkanının ortalama sıcaklığına göre doğrusal ve ikinci derece değişimi sırasıyla Şekil 7.216 ve 7.217’de gösterilmektedir. Doğrusal ve ikinci dereceden yaklaşımlar şekillerde verilmektedir.

Çizelge 7.24. Deney No:19 sonuçları

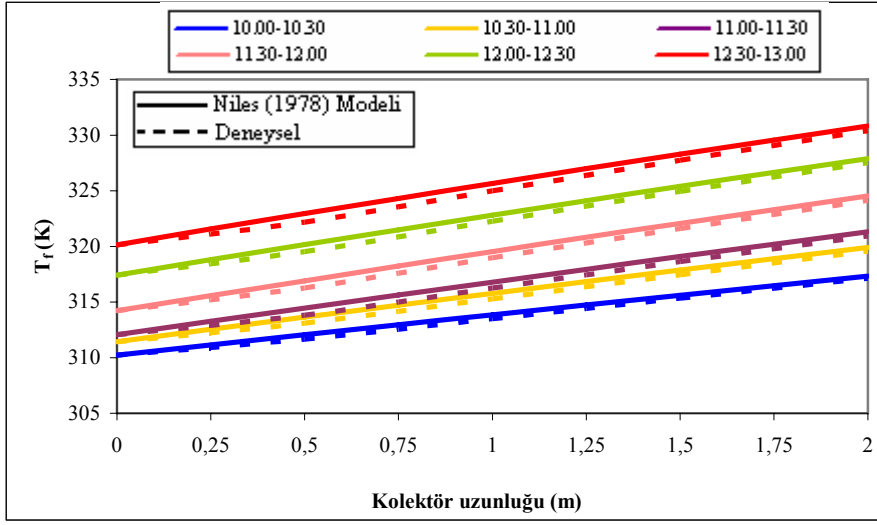
Tarih: 08.09.2008				Akışkan debisi: 0,048 kg/sm ²						
Kolektör Alanı: 2 m ²				Üst örtü: Düşük demir oksitli cam						
Yutucu Yüzey: Siyaha boyanmış yüzey				Kolektör Eğimi: 40°						
Kolektör Tipi: Tek hava kanallı düzlemsel										
İzotermal model										
Zaman	T _a (K)	I (W/m ²)	V _w (m/s)	T _{fi} (K)	η _I Liter. Mod.	η _I Den.	Den. Hata ±	η _{II} Liter. Mod.	η _{II} Den.	Den. Hata ±
10.00 - 10.30	303,86	607,84	0,58	310,21	0,796	0,779	0,00086	0,099	0,088	0,0039
10.30 - 11.00	304,21	705,88	0,56	311,44	0,809	0,787	0,00095	0,114	0,101	0,0037
11.00 - 11.30	304,73	764,7	0,63	312,06	0,814	0,791	0,001	0,122	0,108	0,0036
11.30 - 12.00	305,5	862,74	0,95	314,21	0,808	0,786	0,00106	0,134	0,119	0,0033
12.00 - 12.30	306,14	901,96	1,11	317,41	0,792	0,771	0,00105	0,139	0,123	0,0031
12.30 - 13.00	306,95	921,56	0,77	320,14	0,79	0,767	0,00107	0,143	0,127	0,003
13.00 - 13.30	307,58	960,78	0,82	323,21	0,78	0,755	0,00107	0,148	0,131	0,0028
13.30 - 14.00	308,11	980,39	1,1	326,44	0,757	0,736	0,00106	0,149	0,133	0,0026
14.00 - 14.30	308,55	960,78	1,62	329,21	0,722	0,701	0,00102	0,142	0,127	0,0024
14.30 - 15.00	308,67	901,96	1,39	331,03	0,706	0,687	0,001	0,136	0,122	0,0024
15.00 - 15.30	308,73	862,74	1,12	330,42	0,713	0,681	0,00097	0,134	0,116	0,0024
15.30 - 16.00	309,23	764,7	1,35	329,71	0,694	0,669	0,00094	0,119	0,105	0,0025
16.00 - 16.30	309,13	666,66	1,76	329,11	0,658	0,634	0,00096	0,103	0,091	0,0025
16.30 – 17.00	308,22	549,01	2,21	327,71	0,602	0,582	0,00112	0,084	0,075	0,0041
Nonizotermal model										
Zaman	η _I Liter. Mod.	η _I Den.	Den. Hata ±	η _{II} Liter. Mod.	η _{II} Den.	Den. Hata ±	η _{II} Liter. Mod.	η _{II} Den.	Den. Hata ±	
				Metot I			Metot II			
10.00 - 10.30	0,565	0,549	0,00316	0,0188	0,01806	0,0034	0,01914	0,01839	0,00302	
10.30 - 11.00	0,579	0,556	0,003	0,02211	0,02096	0,00329	0,02251	0,02134	0,00289	
11.00 - 11.30	0,583	0,561	0,00294	0,02317	0,02195	0,00324	0,02359	0,02235	0,00284	
11.30 - 12.00	0,578	0,556	0,00279	0,02641	0,02507	0,00311	0,02689	0,02553	0,0027	
12.00 - 12.30	0,561	0,541	0,00267	0,03024	0,02883	0,00296	0,03079	0,02935	0,00256	
12.30 - 13.00	0,56	0,537	0,00262	0,03357	0,03183	0,00289	0,03419	0,03241	0,00249	
13.00 - 13.30	0,55	0,525	0,00251	0,03713	0,03508	0,00277	0,03781	0,03572	0,00238	
13.30 - 14.00	0,526	0,506	0,0024	0,03959	0,03772	0,00263	0,04031	0,03841	0,00225	
14.00 - 14.30	0,491	0,471	0,00225	0,03957	0,03768	0,00243	0,0403	0,03837	0,00208	
14.30 - 15.00	0,476	0,456	0,00222	0,04009	0,03818	0,00236	0,04083	0,03888	0,00202	
15.00 - 15.30	0,483	0,45	0,00223	0,03956	0,03652	0,00236	0,04029	0,03719	0,00203	
15.30 - 16.00	0,464	0,439	0,00228	0,03545	0,03326	0,00237	0,0361	0,03387	0,00206	
16.00 - 16.30	0,428	0,404	0,00227	0,03116	0,02922	0,00226	0,03173	0,02976	0,00199	
16.30 – 17.00	0,371	0,351	0,00228	0,02566	0,02414	0,0021	0,02613	0,02459	0,00188	



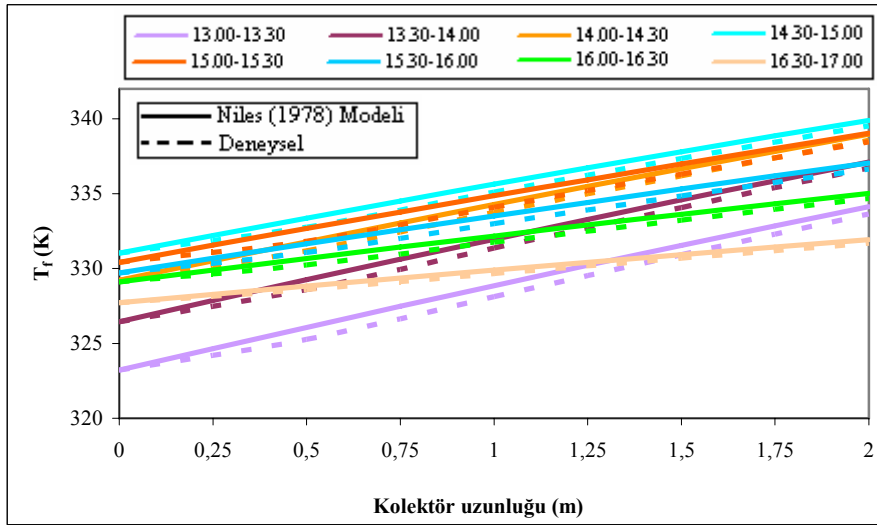
Şekil 7.208. Deney No:19 için cam örtü sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)



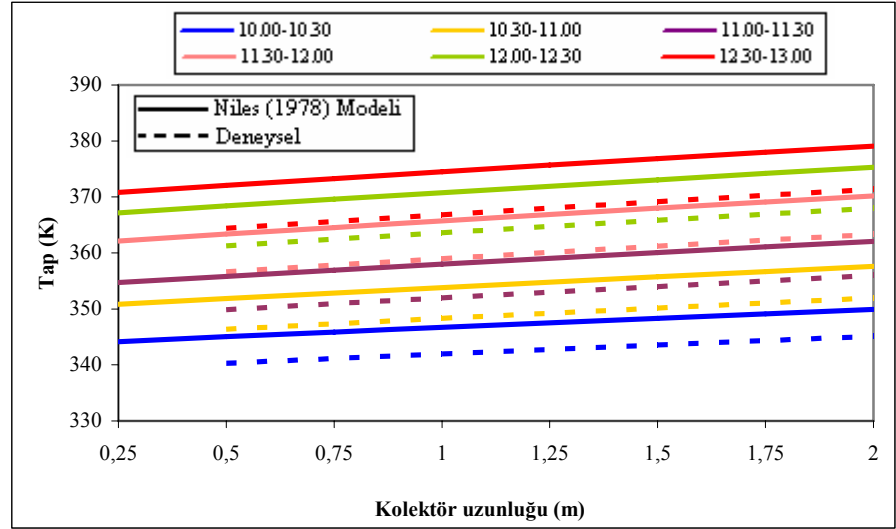
Şekil 7.209. Deney No:19 için cam örtü sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



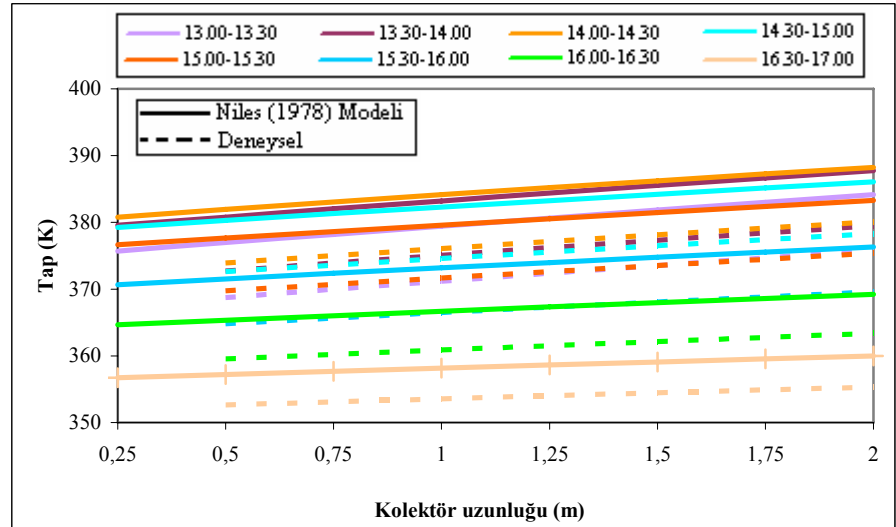
Şekil 7.210. Deney No:19 için kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)



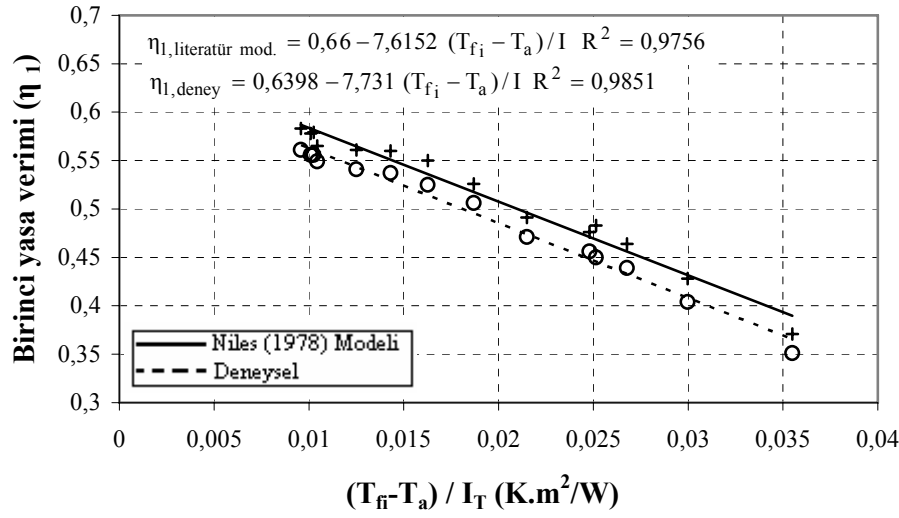
Şekil 7.211. Deney No:19 için kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



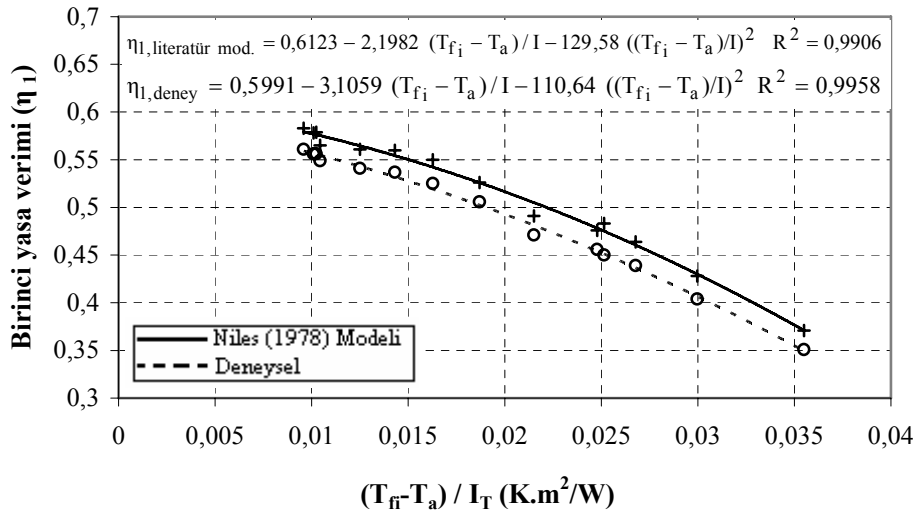
Şekil 7.212. Deney No:19 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)



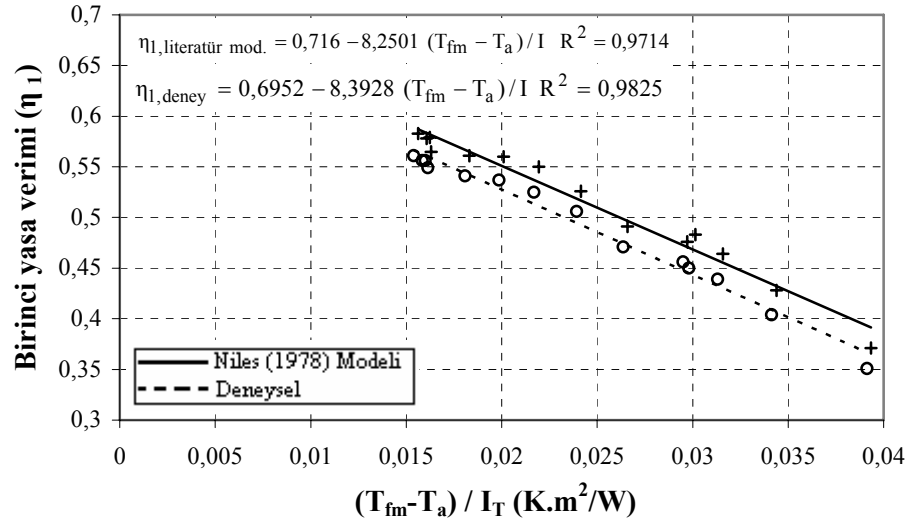
Şekil 7.213. Deney No:19 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



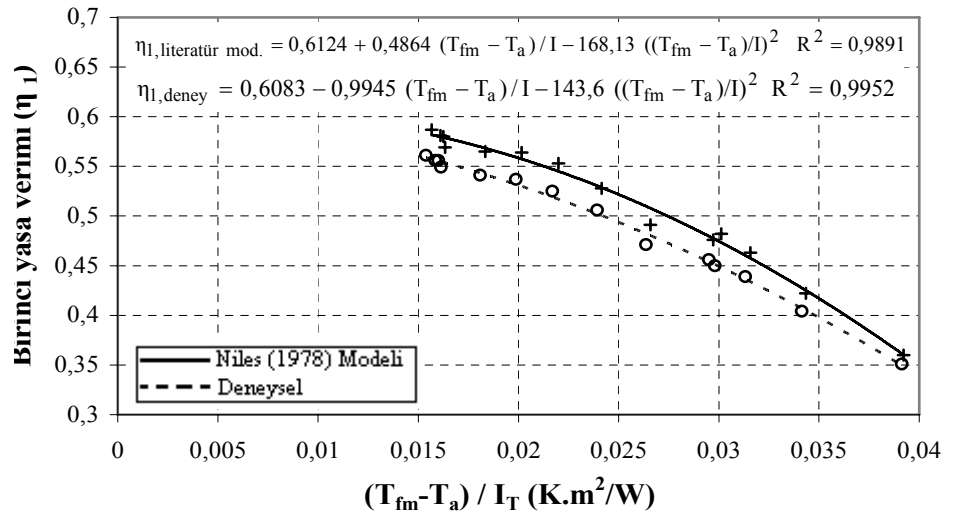
Şekil 7.214. Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:19)



Şekil 7.215. Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:19)



Şekil 7.216. Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:19)



Şekil 7.217. Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:19)

7.5.5 Deney No:20

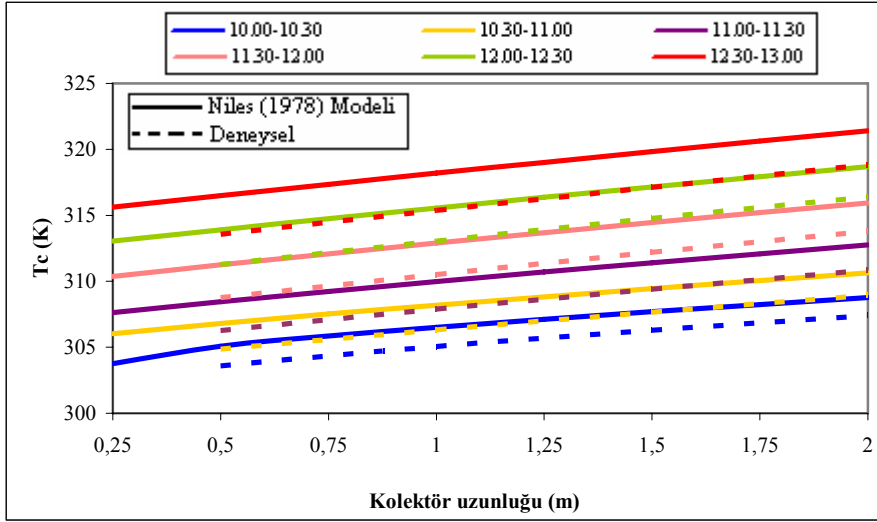
Bu deneylerde kolektörde dolaşan havanın kütleli debisinin $0,055 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda kolektör verim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kolektör çalışma parametresini geniş bir aralıkta incelemek amacıyla hava kolektöre girmeden önce kademeli olarak ön ısıtmaya tabi tutulmuştur. Deneysel olarak ölçülen çevre sıcaklığı, kolektör düzlemine gelen güneş ışınlama şiddeti ve giriş sıcaklıklarına göre deneysel ve literatürden alınan Nusselt sayısına bağlı teorik olarak bulunan izotermal ve nonizotermal enerji, ekserji verimleri ve hata değerleri Çizelge 7.25’de verilmiştir.

Literatürde düzlemsel yutucu levhaya sahip kolektörler için Niles (1978) tarafından verilen denklem 5.75 kullanılarak sonlu farklar metodu ile kolektör boyunca 0,25 m aralıklarla hesaplanan kanaldaki hava, yutucu levha ve cam örtü sıcaklıkları, 0,5 m aralıklarla ölçülen kanaldaki hava, yutucu levha ve cam örtü üzerindeki sıcaklık değerleri ile karşılaştırılmış ve Şekil 7.218-7.223’de verilmiştir.

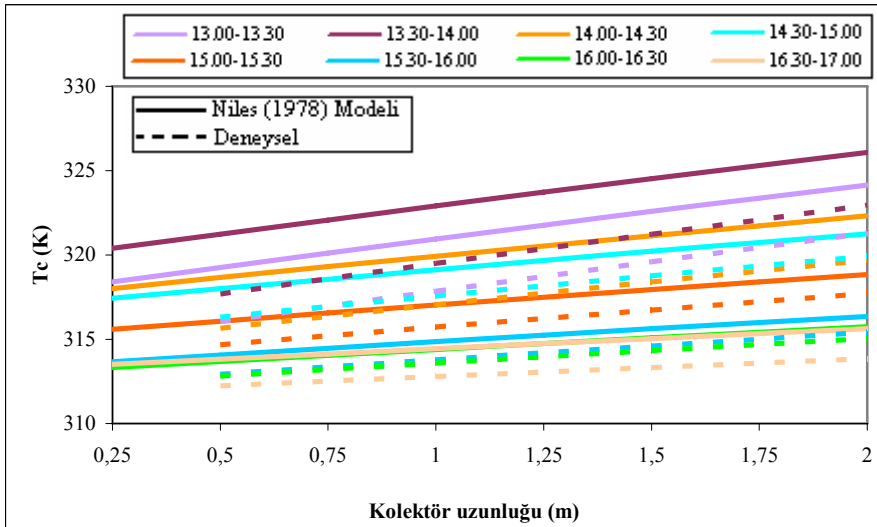
Kolektör verim eğrileri çalışma akışkanının giriş sıcaklığına veya ortalama akışkan sıcaklığına göre oluşturulmaktadır. Çalışma akışkanının kütleli debisinin $0,055 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda literatür modelinden ve deneysel olarak hesaplanan kolektör veriminin giriş sıcaklığına göre doğrusal ve ikinci derece değişimi sırasıyla Şekil 7.224 ve 7.225’de, çalışma akışkanının ortalama sıcaklığına göre doğrusal ve ikinci derece değişimi sırasıyla Şekil 7.226 ve 7.227’de gösterilmektedir. Doğrusal ve ikinci dereceden yaklaşımlar şekillerde verilmektedir.

Çizelge 7.25. Deney No:20 sonuçları

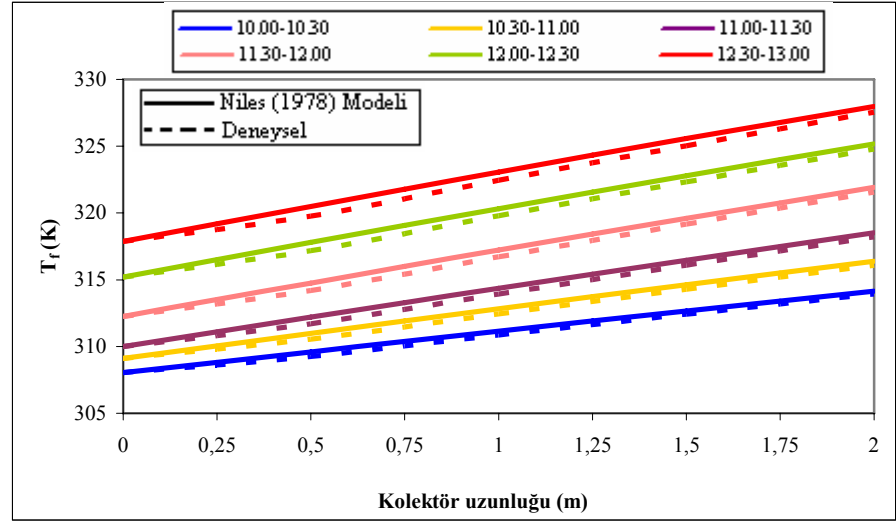
Tarih: 10.09.2008										
Kolektör Alanı:2 m²				Akışkan debisi: 0,055 kg/sm²						
Yutucu Yüzey: Siyaha boyanmış yüzey				Üst örtü: Düşük demir oksitli cam						
Kolektör Tipi: Tek hava kanallı düzlemsel				Kolektör Eğimi: 40°						
İzotermal model										
Zaman	T _a (K)	I (W/m ²)	V _w (m/s)	T _{fi} (K)	η _I Liter. Mod.	η _{II} Den.	Den. Hata ±	η _{II} Liter. Mod.	η _{III} Den.	Den. Hata ±
10.00 - 10.30	301,1	607,84	0,65	308,05	0,786	0,766	0,00077	0,092	0,084	0,0039
10.30 - 11.00	301,41	705,88	0,76	309,11	0,801	0,778	0,00085	0,107	0,097	0,0037
11.00 - 11.30	302,41	803,92	0,82	310	0,817	0,795	0,00095	0,119	0,109	0,0036
11.30 - 12.00	303,61	901,96	0,77	312,26	0,823	0,802	0,00103	0,132	0,121	0,0034
12.00 - 12.30	304,58	941,17	0,74	315,21	0,816	0,794	0,00104	0,138	0,126	0,0032
12.30 - 13.00	305,69	960,78	0,6	317,87	0,814	0,788	0,00103	0,142	0,128	0,0031
13.00 - 13.30	306,73	980,39	0,59	321,23	0,803	0,773	0,001	0,145	0,13	0,0029
13.30 - 14.00	307,35	980,39	0,52	323,64	0,795	0,76	0,00098	0,146	0,13	0,0028
14.00 - 14.30	305,9	921,56	1,37	324,13	0,745	0,724	0,00091	0,134	0,122	0,0027
14.30 - 15.00	304,41	901,96	1,57	325,26	0,714	0,695	0,00092	0,131	0,119	0,0025
15.00 - 15.30	303,2	843,13	1,88	324,53	0,689	0,667	0,00093	0,122	0,111	0,0024
15.30 - 16.00	302,56	754,9	2,16	323,13	0,665	0,64	0,00096	0,109	0,099	0,0024
16.00 - 16.30	302,11	647,05	1,58	322,06	0,655	0,631	0,00096	0,098	0,089	0,0026
16.30 - 17.00	302,04	529,41	0,88	321,21	0,64	0,596	0,00107	0,085	0,075	0,0041
Nonizotermal model										
Zaman	η _I Liter. Mod.	η _I Den.	Den. Hata ±	η _{II} Liter. Mod.	η _{II} Den.	Den. Hata ±	η _{II} Liter. Mod.	η _{II} Den.	Den. Hata ±	
				Metot I			Metot II			
10.00 - 10.30	0,555	0,538	0,00296	0,01878	0,01795	0,00312	0,01912	0,01827	0,002727	
10.30 - 11.00	0,57	0,548	0,0028	0,02177	0,02065	0,00304	0,02216	0,02102	0,002613	
11.00 - 11.30	0,586	0,565	0,00271	0,02326	0,02214	0,00302	0,02368	0,02254	0,002573	
11.30 - 12.00	0,593	0,572	0,00262	0,02651	0,02527	0,00296	0,02699	0,02573	0,002495	
12.00 - 12.30	0,586	0,564	0,00253	0,03006	0,02862	0,00286	0,0306	0,02913	0,002402	
12.30 - 13.00	0,583	0,558	0,00247	0,03278	0,03097	0,00279	0,03337	0,03154	0,002337	
13.00 - 13.30	0,573	0,543	0,00238	0,03618	0,03385	0,00267	0,03684	0,03447	0,00223	
13.30 - 14.00	0,565	0,53	0,00232	0,03855	0,03567	0,00258	0,03926	0,03633	0,002153	
14.00 - 14.30	0,514	0,494	0,00223	0,03715	0,03542	0,00243	0,03783	0,03607	0,002029	
14.30 - 15.00	0,484	0,464	0,00213	0,03839	0,03661	0,00227	0,03908	0,03727	0,0019	
15.00 - 15.30	0,458	0,437	0,00209	0,03654	0,0346	0,00217	0,0372	0,03523	0,001826	
15.30 - 16.00	0,434	0,41	0,0021	0,03301	0,03097	0,0021	0,0336	0,03152	0,001789	
16.00 - 16.30	0,424	0,4	0,00225	0,0309	0,02899	0,00216	0,03146	0,02951	0,001862	
16.30 - 17.00	0,41	0,366	0,00241	0,02824	0,02498	0,00213	0,02739	0,02543	0,001878	



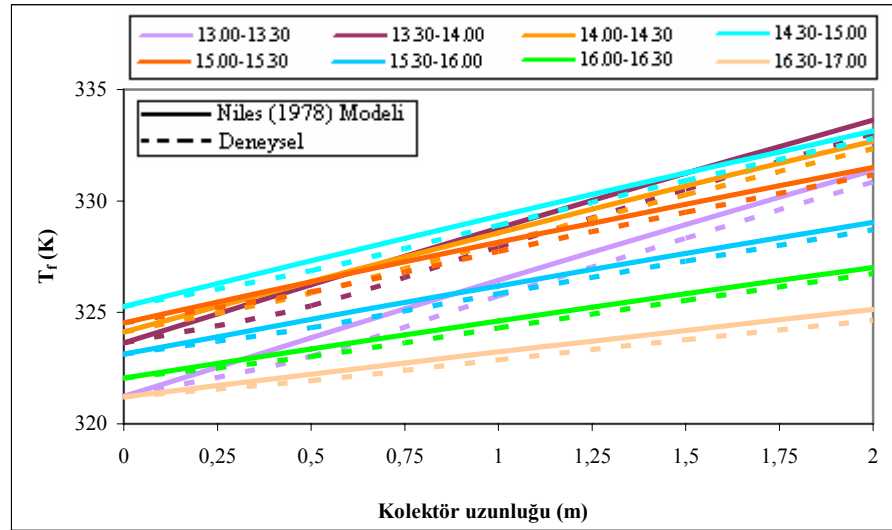
Şekil 7.218. Deney No:20 için cam örtü sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)



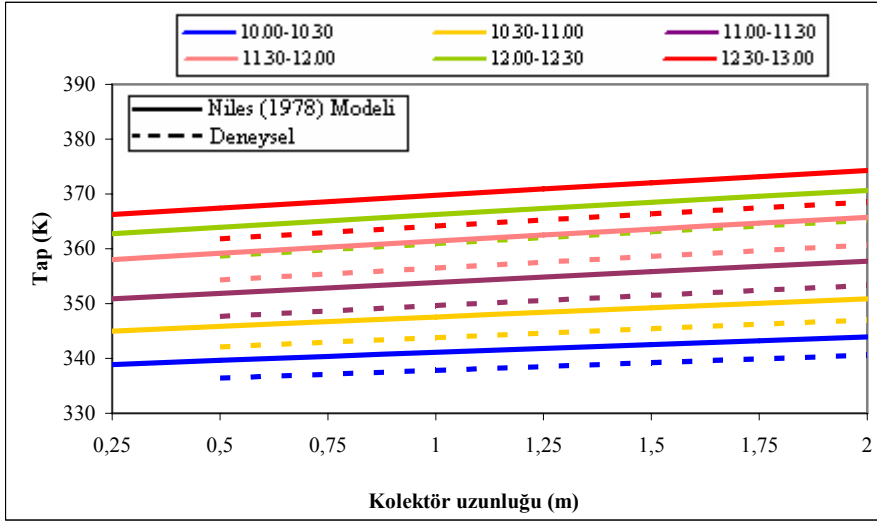
Şekil 7.219. Deney No:20 için cam örtü sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



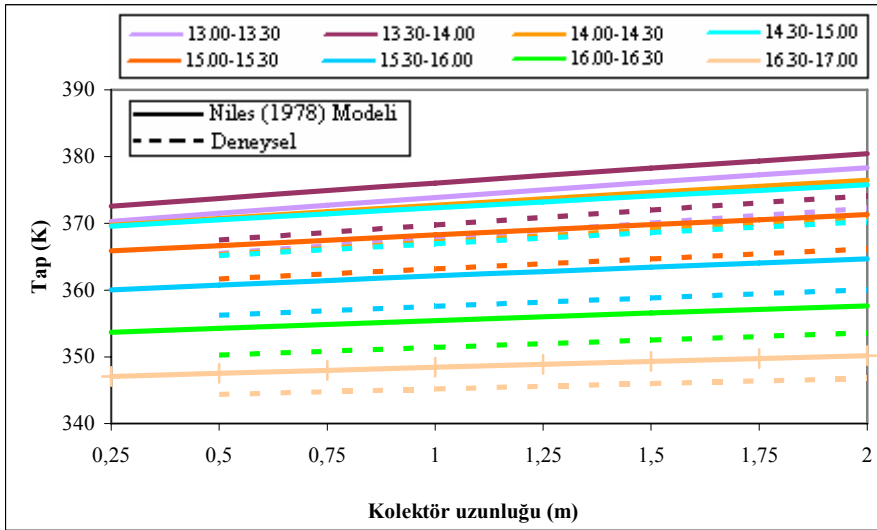
Şekil 7.220. Deney No:20 için kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)



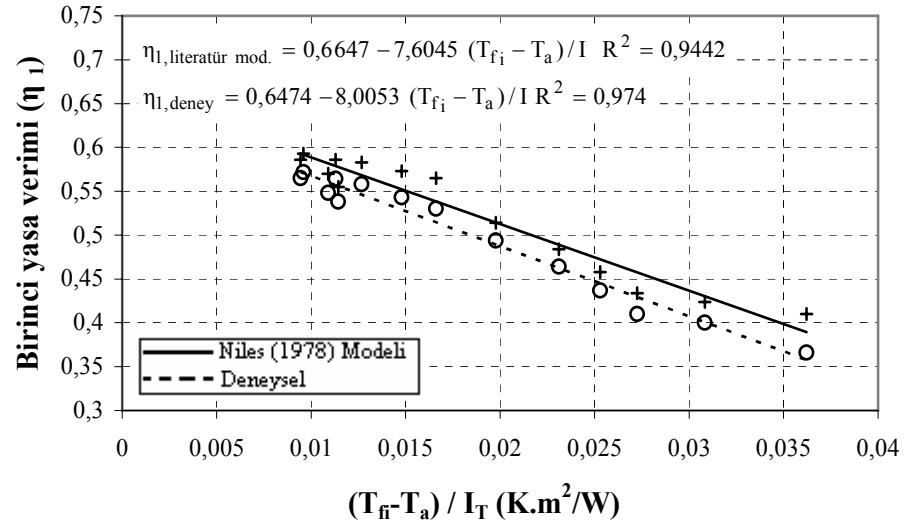
Şekil 7.221. Deney No:20 için kanaldaki hava sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



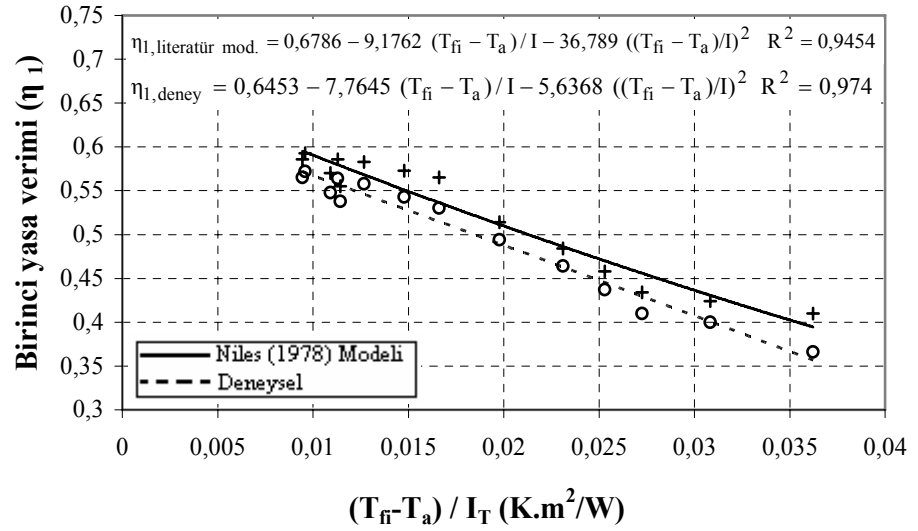
Şekil 7.222. Deney No:20 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 10:00-13:00)



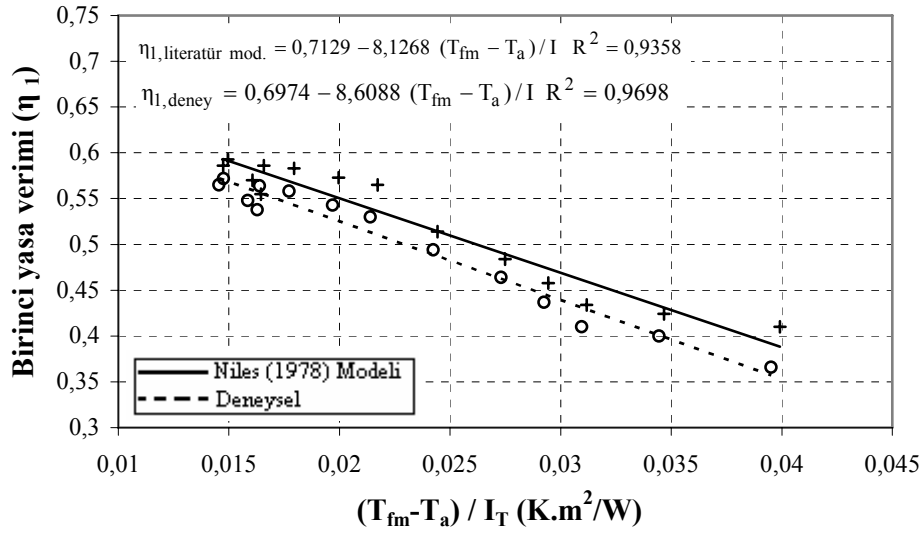
Şekil 7.223. Deney No:20 için yutucu levha sıcaklığının kolektör boyunca değişimi (Saat 13:00-17:00)



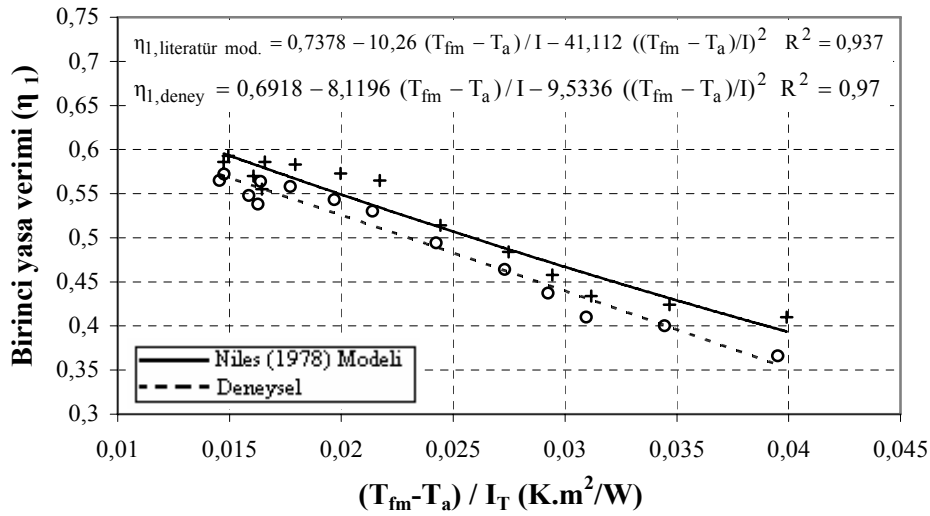
Şekil 7.224. Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:20)



Şekil 7.225. Akışkan giriş sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel ikinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:20)



Şekil 7.226. Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:20)



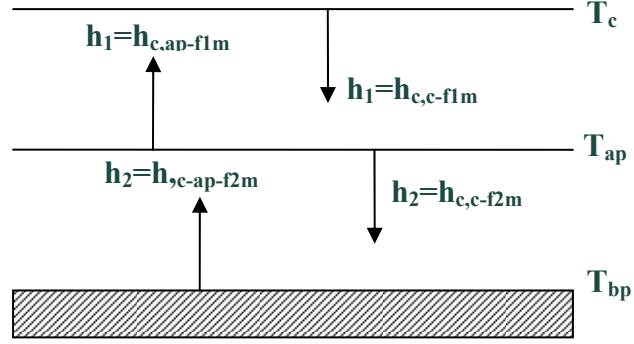
Şekil 7.227. Akışkan ortalama sıcaklığına göre literatür modeli ve deneysel birinci derece kolektör deneysel verim eğrileri ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:20)

8. HAVA AKIŞKANLI KOLEKTÖRLERDE MODELLERİN OLUŞTURULMASI

Hava akışkanlı güneş kolektörlerinin teorik analizinde kolektör ısı davranışını etkileyen önemli parametrelerden biriside boyutsuz Nusselt sayısının belirlenmesidir. Literatürde Nusselt sayısının geliştirilmesi ile ilgili yayınlarda kolektörler adyabatik ısı değiştirici olarak kabul edilmiş ve sadece yutucu levha ile akışkan arasındaki ısı transfer mekanizması göz önüne alınarak korelasyonlar türetilmiştir. Fakat, gerçekte kolektörler adyabatik değildir, çünkü ısı kayıplarının önemli bir kısmı cam örtü boyunca oluşmaktadır. Bu çalışmada kapsamında cam ve alt levha sıcaklıkları da göz önüne alınarak hesaplanan Nu sayısı bağıntıları geliştirilmiştir. Çalışmada, çift hava akışkanlı güneş kolektörleri boyunca hava akışkanının ve yutucu levha sıcaklıklarının ölçümü yapıldığından dolayı cam örtü ve alt levha sıcaklıkları sayısal olarak çözümlenmiştir.

8.1. Çift Hava Kanallı Kolektörlerin Modellenmesi

Çift hava kanallı güneş kolektörlerinde hava, kanal ortasında bulunan yutucu levha üzerinden ve altından akmaktadır. Üst ve alt kanalı meydana getiren bileşenler farklıdır. Üst kanaldaki hava yutucu levha ve cam örtü, alt kanaldaki hava ise yutucu levha ve alt levha ile temas halindedir. Dolayısıyla, üst ve alt kanaldaki sırasıyla h_1 ve h_2 ısı taşınım katsayıları da (W/m^2) farklı olacaktır. Şekil 8.1’de, çift hava akışkanlı güneş kolektörlerinde oluşan ısı taşınım transfer mekanizması verilmiştir.



Şekil 8.1. Çift hava akışkanlı güneş kolektöründe ısı taşınım transferi

Literatürde kolektörlerin modellenmesinde alt ve üst kanaldaki ısı taşınım katsayıları için aynı bağıntılar kullanılmaktadır ve sadece yutucu levha ile akışkan hava arasındaki ısı taşınımı göz önüne alınarak korelasyonlar türetilmiştir. Bu çalışma kapsamında, üst kanal ve alt kanal için cam örtü ve alt levha sıcaklıkları da dikkate alınarak alt ve üst kanal için ayrı Nusselt sayısı bağıntıları elde edilmiştir.

Üst kanaldaki Nusselt sayısının belirlenmesinde cam örtü, üst kanaldaki hava akışkanı ve yutucu levha sıcaklıklarının bilinmesi gerekmektedir. Hava akışkan sıcaklığı ve yutucu levha sıcaklığı deneylerde ölçüldüğü için cam örtü sıcaklığının iteratif olarak çözümlenmesi gerekmektedir. Çift hava kanallı kolektörler için denklem 5.37’de cam örtü için verilen ifadeden yutucu levha sıcaklığı için aşağıdaki eşitlik elde edilebilir.

$$T_{ap} = \frac{T_c (h_{r,ap-c} + h_{c,c-fl} + h_w + h_{r,c-s}) - S_l - h_{c,c-fl} T_{flm} - h_w T_a - h_{r,c-s} T_s}{h_{r,ap-c}}$$

Yukarıdaki eşitlik ve üst kanaldaki havanın ortalama sıcaklığı için verilen denklem 5.39 iteratif olarak çözümlenirse cam örtü sıcaklığı T_c bulunabilir.

Benzer şekilde alt kanaldaki Nu sayısının belirlenmesinde alt levha, yutucu levha, alt kanaldaki hava akışkan sıcaklıklarının bilinmesi gerekmektedir. Deneysel çalışmada, alt kanaldaki hava sıcaklığı ve yutucu levha sıcaklığı ölçümü yapıldığından dolayı alt levha sıcaklığının iteratif olarak çözümlenmesi gerekmektedir. Çift hava akışkanlı güneş kolektörleri için denklem 5.41’de alt levha için verilen bağıntıdan yutucu levha sıcaklığı için aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$T_{ap} = \frac{T_{bp} (h_{c,bp-f2} + h_{r,ap-bp} + U_b) - h_{c,bp-f2} T_{f2m} - U_b T_a}{h_{r,ap-bp}}$$

Yukarıdaki eşitlik ve alt kanaldaki havanın ortalama sıcaklığı için verilen denklem 5.40 iteratif olarak çözümlenir ise alt levha sıcaklığı T_{bp} bulunabilir.

Üst ve alt kanaldaki akışkan için yararlı ısı miktarı sırasıyla aşağıdaki eşitliklerden hesaplanabilir.

$$h_{c,ap-f1m} (T_{ap} - T_{f1m}) + h_{c,c-f1m} (T_c - T_{f1m}) = \dot{m}_{f1} C_p (T_{f1i} - T_{f1o})$$

$$h_{c,ap-f2m} (T_{ap} - T_{f2m}) + h_{c,bp-f2m} (T_{bp} - T_{f2m}) = \dot{m}_{f2} C_p (T_{f2i} - T_{f2o})$$

Bu eşitliklerde, yutucu levha sıcaklığı, kütleli debi, akışkan giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçümleri yapılmıştır. Cam örtü ve alt levha sıcaklıkları sayısal olarak çözümlendiğinden dolayı bilinmektedir. Dolayısıyla, bu

eşitliklerden $h_1=h_{c-ap-f1m}=h_{c,c-f1m}$ ve $h_2=h_{c-ap-f2m}=h_{c,bp-f2m}$ değerleri bulunabilir.

Nusselt sayısı; ısı taşınım katsayısı, hidrolik çap ve hava ısı iletim katsayısına bağlı olarak aşağıdaki eşitlik ile tanımlanır.

$$Nu = \frac{hD_h}{k}$$

Nusselt sayısı ayrıca Prandtl ve Reynolds sayısının fonksiyonudur. Pr, denklem 5.81'den ve Re aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanabilir.

$$Re = \frac{\rho_f V_f D_h}{\mu}$$

Bu eşitlikte, hidrolik çap kanal genişliği ve yüksekliği cinsinden aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir.

$$D_h = \frac{4A_{ch}}{p} = \frac{4(W \times H)}{2(W + H)} = \frac{2WH}{(W + H)}$$

8.1.1 Seçici yüzeyli kolektörün modellenmesi

Bu kolektörler için yapılan Deney No:1-Deney No:10'da kolektör boyunca 0,5 m aralıklarla ölçülen yutucu levha sıcaklığının ortalama değeri, yukarıdaki eşitliklerden sayısal olarak çözümlenen ortalama cam örtü, alt levha sıcaklıkları, üst ve alt kanal için Reynolds ve Nusselt sayıları ve ısı taşınım katsayıları Çizelge 8.1-8.5'de verilmektedir.

Çizelge 8.1. Deney No:1 ve 2 için cam örtü, alt levha sıcaklıkları ve ısı taşınım katsayıları

Kolektör Alanı:2,4 m ²				Akışkan debisi: 0,025 kg/sm ²					
Yutucu Yüzey: Seçici yüzey				Üst örtü: Temperli cam					
Kolektör Tipi: Çift hava kanallı				Kolektör Eğimi: 40°					
Deney No:1									
Zaman	T _{ap,m} (K)	T _{c,m} (K)	T _{bp,m} (K)	Re ₁	Re ₂	Nu ₁	Nu ₂	h ₁ (W/m ² K)	h ₂ (W/m ² K)
09.00 - 09.30	335,31	313,27	316,6	2351,36	2346,05	31,33	46,94	6,47151	9,76024
09.30 - 10.00	343,32	316,15	319,5	2345,78	2339,85	30,62	46,02	6,36920	9,64727
10.00 - 10.30	346,73	316,86	320,6	2343,89	2337,53	30,38	45,69	6,33519	9,60569
10.30 - 11.00	355,38	321,19	325,3	2336,45	2329,49	29,46	44,55	6,20322	9,46311
11.00 - 11.30	360,53	322,69	327,2	2333,64	2326,20	29,13	44,10	6,15432	9,40594
11.30 - 12.00	363,67	324,56	328,8	2330,27	2322,57	28,73	43,60	6,09648	9,34335
12.00 - 12.30	368,39	326,12	330,6	2327,83	2319,79	28,44	43,23	6,05503	9,29586
12.30 - 13.00	370,39	327,94	332,0	2325,03	2316,93	28,12	42,84	6,00807	9,24727
13.00 - 13.30	372,82	331,62	333,7	2321,06	2313,43	27,67	42,38	5,94213	9,18859
13.30 - 14.00	373,35	330,2	334,7	2319,71	2311,32	27,52	42,11	5,91991	9,15340
14.00 - 14.30	371,92	329,30	334,6	2319,70	2311,32	27,52	42,11	5,91973	9,15340
14.30 - 15.00	370,67	329,88	334,7	2319,01	2311,01	27,45	42,07	5,90842	9,14840
15.00 - 15.30	359,62	325,41	330,1	2326,62	2319,47	28,30	43,18	6,03458	9,29033
15.30 - 16.00	353,31	324,00	327,9	2329,96	2323,58	28,69	43,74	6,09125	9,36068
16.00 - 16.30	348,66	323,13	326,4	2332,17	2326,31	28,95	44,11	6,12910	9,40777
16.30 – 17.00	339,68	320,22	323,4	2337,27	2332,16	29,56	44,93	6,21755	9,51015
Deney No:2									
Zaman	T _{ap,m} (K)	T _{c,m} (K)	T _{bp,m} (K)	Re ₁	Re ₂	Nu ₁	Nu ₂	h ₁ (W/m ² K)	h ₂ (W/m ² K)
09.00 - 09.30	341,24	318,45	322,7	2339,06	2333,46	29,78	45,11	6,24901	9,53301
09.30 - 10.00	345,77	320,14	324,3	2336,28	2330,38	29,44	44,68	6,20025	9,47886
10.00 - 10.30	349,15	321,77	325,9	2333,35	2327,32	29,09	44,25	6,14937	9,42534
10.30 - 11.00	360,43	326,05	331,1	2324,40	2317,22	28,05	42,88	5,99752	9,25221
11.00 - 11.30	366,06	328,15	333,7	2319,84	2312,11	27,54	42,21	5,92197	9,16654
11.30 - 12.00	370,26	329,41	335,8	2316,42	2308,20	27,16	41,71	5,86639	9,10192
12.00 - 12.30	374,53	331,84	338,3	2311,67	2303,13	26,65	41,06	5,79011	9,01911
12.30 - 13.00	379,97	336,02	342,8	2302,86	2293,85	25,72	39,92	5,65233	8,87074
13.00 - 13.30	382,4	335,59	345,3	2298,63	2288,70	25,29	39,30	5,58784	8,79021
13.30 - 14.00	383,77	335,93	346,4	2296,62	2286,34	25,09	39,02	5,55745	8,75359
14.00 - 14.30	380,81	335,36	345,2	2298,41	2288,59	25,27	39,29	5,58457	8,78847
14.30 - 15.00	377,05	333,52	343,5	2301,30	2291,73	25,56	39,66	5,62843	8,83741
15.00 - 15.30	373,94	332,70	342,1	2303,57	2294,37	25,80	39,98	5,66331	8,87899
15.30 - 16.00	369,47	331,04	340,2	2306,71	2297,91	26,12	40,41	5,71194	8,93524
16.00 - 16.30	361,63	328,73	336,6	2312,46	2304,61	26,73	41,25	5,80271	9,04328
16.30 - 17.00	350,58	324,78	333,1	2318,20	2311,04	27,36	42,07	5,89526	9,14892

Çizelge 8.2. Deney No:3 ve 4 için cam örtü, alt levha sıcaklıkları ve ısı taşınım katsayıları

Kolektör Alanı:2,4 m ²				Akışkan debisi: 0,033 kg/sm ²					
Yutucu Yüzey: Seçici yüzey				Üst örtü: Temperli cam					
Kolektör Tipi: Çift hava kanallı				Kolektör Eğimi: 40°					
Deney No:3									
Zaman	T _{ap,m} (K)	T _{c,m} (K)	T _{bp,m} (K)	Re ₁	Re ₂	Nu ₁	Nu ₂	h ₁ (W/m ² K)	h ₂ (W/m ² K)
09.00 - 09.30	331,73	313,72	314,8	3107,59	3102,68	36,17	53,95	7,44263	11,1528
09.30 - 10.00	337,78	316,19	316,5	3102,83	3098,32	35,64	53,38	7,36606	11,0832
10.00 - 10.30	342,63	317,96	318,7	3098,23	3092,53	35,13	52,65	7,29325	10,9922
10.30 - 11.00	345,88	319,52	320,3	3094,23	3088,26	34,69	52,11	7,23062	10,9258
11.00 - 11.30	351,81	321,87	322,6	3088,76	3082,25	34,1	51,37	7,14621	10,8334
11.30 - 12.00	356,17	324,22	324,1	3085,21	3078,67	33,73	50,94	7,09226	10,7788
12.00 - 12.30	358,2	325	325,0	3083,12	3076,36	33,51	50,66	7,06068	10,7440
12.30 - 13.00	361,77	326,18	326,6	3079,62	3072,49	33,15	50,19	7,00823	10,6858
13.00 - 13.30	362,82	326,95	327,9	3076,04	3068,59	32,78	49,74	6,95518	10,6279
13.30 - 14.00	363,72	328,12	328,9	3073,23	3065,83	32,5	49,41	6,9138	10,5871
14.00 - 14.30	362,31	327,23	328,7	3073,64	3066,07	32,54	49,44	6,91992	10,5905
14.30 - 15.00	358,22	326,12	327,3	3076,42	3069,5	32,82	49,84	6,96075	10,6413
15.00 - 15.30	352,91	324,23	325,6	3080,24	3073,83	33,21	50,35	7,01741	10,7058
15.30 - 16.00	347,38	322,77	323,7	3084,19	3078,52	33,62	50,92	7,07676	10,7765
16.00 - 16.30	342,38	320,74	322,0	3088,08	3082,63	34,03	51,42	7,13588	10,8391
16.30 - 17.00	333,52	317,17	318,8	3095,87	3091,01	34,87	52,46	7,25618	10,9685
Deney No:4									
Zaman	T _{ap,m} (K)	T _{c,m} (K)	T _{bp,m} (K)	Re ₁	Re ₂	Nu ₁	Nu ₂	h ₁ (W/m ² K)	h ₂ (W/m ² K)
09.00 - 09.30	336,89	317,91	321,0	3090,4	3084,58	34,28	51,66	7,17149	10,8690
09.30 - 10.00	340,64	319,72	322,4	3087,1	3081,19	33,93	51,24	7,12086	10,8171
10.00 - 10.30	346,64	322,36	325,1	3080,46	3074,05	33,23	50,38	7,02076	10,7092
10.30 - 11.00	352,49	324,34	327,8	3074,12	3066,94	32,59	49,54	6,92687	10,6034
11.00 - 11.30	358,37	327,03	330,5	3067,27	3059,55	31,91	48,69	6,82748	10,4952
11.30 - 12.00	362,91	329,11	332,8	3061,87	3053,69	31,39	48,02	6,75039	10,4107
12.00 - 12.30	366,58	331,72	335,0	3056,13	3047,79	30,84	47,37	6,66976	10,3267
12.30 - 13.00	370,48	335,19	338,3	3047,27	3038,78	30,02	46,39	6,54792	10,2005
13.00 - 13.30	373,17	334,55	340,7	3041,95	3032,09	29,54	45,68	6,47624	10,1085
13.30 - 14.00	371,51	333,75	340,7	3041,85	3031,93	29,53	45,66	6,47496	10,1062
14.00 - 14.30	366,98	331,54	338,3	3047,58	3038,17	30,05	46,32	6,5522	10,1920
14.30 - 15.00	364,1	331,06	337,4	3049,27	3040,43	30,2	46,57	6,57516	10,2235
15.00 - 15.30	360,45	330,41	336,4	3051,08	3042,68	30,37	46,81	6,59997	10,2549
15.30 - 16.00	355,74	328,57	334,1	3056,58	3048,73	30,88	47,47	6,67609	10,3400
16.00 - 16.30	352,42	325,52	332,6	3060,75	3052,69	31,28	47,91	6,73456	10,3963
16.30 - 17.00	346,62	324,15	330,8	3064,57	3057,09	31,65	48,41	6,78875	10,4597

Çizelge 8.3. Deney No:5 ve 6 için cam örtü, alt levha ve sıcaklıkları ve ısı taşınım katsayıları

Kolektör Alanı:2,4 m ² Yutucu Yüzey: Seçici yüzey Kolektör Tipi: Çift hava kanallı				Akışkan debisi: 0,04 kg/sm ² Üst örtü: Temperli cam Kolektör Eğimi: 40°					
Deney No:5									
Zaman	T _{ap,m} (K)	T _{c,m} (K)	T _{bp,m} (K)	Re ₁	Re ₂	Nu ₁	Nu ₂	h ₁ (W/m ² K)	h ₂ (W/m ² K)
09.00 - 09.30	329,71	314,67	314,3	3766,67	3762,43	39,62	58,84	8,15167	12,1479
09.30 - 10.00	334,94	316,85	315,8	3762,57	3758,14	39,2	58,23	8,09195	12,0638
10.00 - 10.30	339,74	319,47	317,9	3755,86	3751,21	38,52	57,43	7,99565	11,9642
10.30 - 11.00	343,15	320,74	319,1	3752,38	3747,45	38,18	56,85	7,94627	11,8805
11.00 - 11.30	348,02	323,44	321,2	3745,95	3740,79	37,55	56,05	7,85616	11,7751
11.30 - 12.00	351,82	325,57	322,5	3742,16	3737,09	37,19	55,58	7,80375	11,7108
12.00 - 12.30	353,75	327,32	323,6	3738,46	3733,4	36,84	55,27	7,75308	11,6800
12.30 - 13.00	357,45	328,66	324,7	3735,69	3730,3	36,57	54,77	7,71538	11,6043
13.00 - 13.30	357	328,19	324,3	3737,17	3731,89	36,71	54,31	7,73547	11,4922
13.30 - 14.00	355,81	328,55	323,8	3738,48	3733,67	36,84	53,99	7,75331	11,4084
14.00 - 14.30	354,58	326,23	323,4	3739,96	3734,71	36,98	54,03	7,77356	11,4064
14.30 - 15.00	352,56	325,71	322,8	3741,58	3736,44	37,13	54,45	7,79577	11,4797
15.00 - 15.30	348,82	324,13	321,7	3744,61	3739,53	37,42	55	7,83768	11,5660
15.30 - 16.00	343,77	321,4	320,4	3747,96	3742,92	37,74	55,6	7,88425	11,6604
16.00 - 16.30	336,72	319,02	318,4	3753,59	3749,21	38,3	56,15	7,96349	11,7176
16.30 – 17.00	330,06	316,35	316,8	3757,92	3753,66	38,73	57,25	8,02508	11,9034
Deney No:6									
Zaman	T _{ap,m} (K)	T _{c,m} (K)	T _{bp,m} (K)	Re ₁	Re ₂	Nu ₁	Nu ₂	h ₁ (W/m ² K)	h ₂ (W/m ² K)
09.00 - 09.30	333,52	316,77	318,8	3752,19	3746,34	38,16	56,38	7,94361	11,7919
09.30 - 10.00	336,96	317,74	320,0	3748,63	3742,52	37,81	55,93	7,89358	11,7333
10.00 - 10.30	341,69	319,75	321,6	3743,9	3737,49	37,35	55,01	7,82775	11,5878
10.30 - 11.00	344,65	321,61	323,2	3739,02	3732,54	36,89	54,12	7,76075	11,4453
11.00 - 11.30	349,3	323,11	324,9	3734,16	3727,08	36,43	53,21	7,6947	11,3020
11.30 - 12.00	354,22	326,41	327,6	3725,61	3718,3	35,65	52,47	7,58035	11,2241
12.00 - 12.30	359,9	327,64	330,2	3718,36	3709,93	35	51,75	7,48521	11,1428
12.30 - 13.00	362,02	328,51	331,3	3715,37	3706,62	34,73	50,73	7,44641	10,9511
13.00 - 13.30	363,17	328,64	332,6	3711,34	3702,08	34,38	49,97	7,39464	10,8269
13.30 - 14.00	362,65	329,27	333,6	3707,44	3698,14	34,04	49,93	7,34495	10,8516
14.00 - 14.30	362,27	329,83	334,0	3705,9	3696,85	33,91	50,6	7,32548	11,0086
14.30 - 15.00	359,34	328,52	332,5	3710,29	3701,56	34,29	50,88	7,38115	11,0278
15.00 - 15.30	354,15	325,55	330,2	3717,35	3708,9	34,91	51,17	7,4721	11,0274
15.30 - 16.00	348,25	323,92	328,0	3723,33	3715,76	35,44	51,89	7,55026	11,1221
16.00 - 16.30	344,94	323,12	326,8	3726,66	3719,64	35,74	52,37	7,59423	11,1893
16.30 – 17.00	340,25	321,36	325,7	3729,72	3722,93	36,02	52,9	7,63502	11,2728

Çizelge 8.4. Deney No:7 ve 8 için cam örtü, alt levha ve sıcaklıkları ve ısı taşınım katsayıları

Kolektör Alanı:2,4 m ² Yutucu Yüzey: Seçici yüzey Kolektör Tipi: Çift hava kanallı				Akışkan debisi: 0,048 kg/sm ² Üst örtü: Temperli cam Kolektör Eğimi: 40°					
Deney No:7									
Zaman	T _{ap,m} (K)	T _{c,m} (K)	T _{bp,m} (K)	Re ₁	Re ₂	Nu ₁	Nu ₂	h ₁ (W/m ² K)	h ₂ (W/m ² K)
09.00 - 09.30	327,01	313,72	313,1	4523,91	4519,78	43,56	64,58	8,93948	13,2899
09.30 - 10.00	331,52	315,81	314,4	4519,41	4515,25	43,14	64,09	8,8795	13,2305
10.00 - 10.30	336,31	318,25	316,4	4511,86	4507,42	42,44	63,27	8,78012	13,1289
10.30 - 11.00	339,78	319,7	317,7	4507,05	4502,26	42	62,73	8,71764	13,0625
11.00 - 11.30	344,01	321,84	319,5	4500,28	4495,26	41,39	62,01	8,63067	12,9733
11.30 - 12.00	347,59	323,98	320,7	4496,1	4491,33	41,02	61,61	8,57747	12,9237
12.00 - 12.30	349,69	325,67	321,7	4491,63	4486,75	40,63	61,15	8,52122	12,8663
12.30 - 13.00	352,71	327,85	322,7	4488,34	4483,54	40,35	60,83	8,48007	12,8263
13.00 - 13.30	352,17	327,03	322,1	4490,57	4485,77	40,54	61,05	8,50789	12,8540
13.30 - 14.00	351,29	327,48	321,9	4491,08	4486,77	40,58	61,15	8,5143	12,8665
14.00 - 14.30	350,13	325,2	321,6	4492,96	4488,12	40,75	61,29	8,53793	12,8834
14.30 - 15.00	348,21	324,24	321,0	4495,01	4490,12	40,93	61,49	8,56374	12,9085
15.00 - 15.30	344,42	322,89	320,0	4498,23	4493,66	41,21	61,85	8,60452	12,9531
15.30 - 16.00	341,72	321,74	319,4	4500,22	4495,67	41,39	62,05	8,62988	12,9785
16.00 - 16.30	333,71	317,87	317,2	4507,88	4503,49	42,07	62,86	8,72831	13,0783
16.30 - 17.00	328,09	315,81	315,9	4512,25	4508,1	42,47	63,34	8,78524	13,1377
Deney No:8									
Zaman	T _{ap,m} (K)	T _{c,m} (K)	T _{bp,m} (K)	Re ₁	Re ₂	Nu ₁	Nu ₂	h ₁ (W/m ² K)	h ₂ (W/m ² K)
09.00 - 09.30	3330,57	315,87	317,8	4505,92	4500	41,9	62,5	8,703	13,0336
09.30 - 10.00	335,12	317,33	319,1	4500,98	4494,68	41,46	61,95	8,63959	12,9661
10.00 - 10.30	339,42	319,26	320,6	4495,69	4489,08	40,99	61,39	8,57228	12,8954
10.30 - 11.00	343,02	321,04	322,2	4489,81	4482,95	40,47	60,77	8,49843	12,8190
11.00 - 11.30	346,91	322,98	324,1	4482,71	4475,38	39,87	60,03	8,4103	12,7255
11.30 - 12.00	350,9	325,53	326,0	4475,2	4467,76	39,23	59,29	8,31851	12,6324
12.00 - 12.30	355,35	326,13	327,9	4469,05	4460,6	38,73	58,6	8,24439	12,5460
12.30 - 13.00	357,31	327,24	329,2	4464,36	4455,6	38,34	58,13	8,18839	12,4863
13.00 - 13.30	358,8	328,48	331,0	4457,36	4448,12	37,78	57,43	8,1058	12,3977
13.30 - 14.00	358,34	328,93	331,9	4453,17	4443,95	37,45	57,05	8,05697	12,3487
14.00 - 14.30	357,68	328,19	331,5	4454,82	4445,54	37,58	57,19	8,07616	12,3673
14.30 - 15.00	356,98	327,87	331,3	4455,58	4446,38	37,64	57,27	8,08508	12,3772
15.00 - 15.30	352,98	325,62	329,2	4463,33	4454,5	38,26	58,03	8,17616	12,4731
15.30 - 16.00	349,87	324,59	328,2	4466,64	4458,14	38,53	58,37	8,21559	12,5165
16.00 - 16.30	344,83	323,01	326,6	4472,15	4464,34	38,98	58,96	8,28168	12,5910
16.30 - 17.00	338,17	321,2	325,0	4477,33	4470,19	39,41	59,52	8,34446	12,662

Çizelge 8.5. Deney No:9 ve 10 için cam örtü, alt levha sıcaklıkları ve ısı taşınım katsayıları

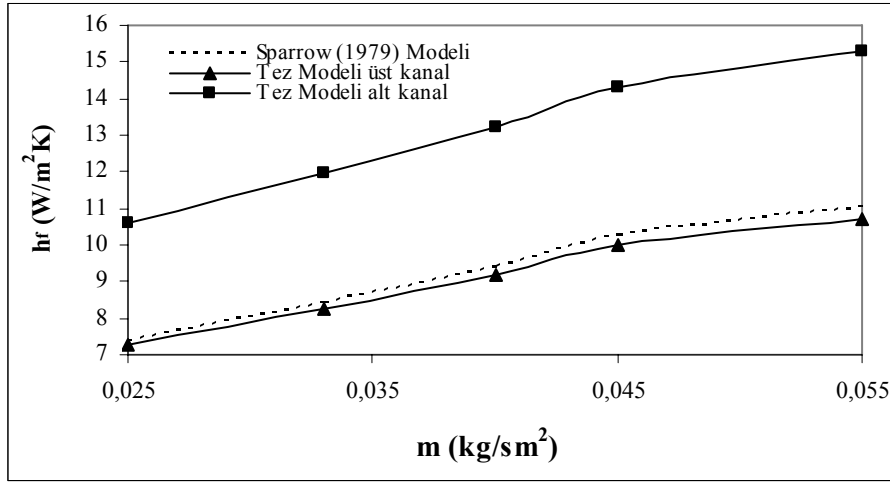
Kolektör Alanı:2,4 m ² Yutucu Yüzey: Seçici yüzey Kolektör Tipi: Çift hava kanallı				Akışkan debisi: 0,055 kg/sm ² Üst örtü: Temperli cam Kolektör Eğimi: 40°					
Deney No:9									
Zaman	T _{ap,m} (K)	T _{c,m} (K)	T _{bp,m} (K)	Re ₁	Re ₂	Nu ₁	Nu ₂	h ₁ (W/m ² K)	h ₂ (W/m ² K)
09.00 - 09.30	327,01	314,12	313,0	5183,74	5179,72	46,47	68,74	9,53652	14,1394
09.30 - 10.00	330,65	315,75	313,9	5179,77	5175,69	46,12	68,34	9,48721	14,0902
10.00 - 10.30	335,25	317,99	315,9	5171,33	5166,93	45,39	67,48	9,3835	13,9844
10.30 - 11.00	338,95	319,71	317,6	5163,79	5158,93	44,75	66,7	9,29217	13,8888
11.00 - 11.30	342,45	321,2	318,9	5158,62	5153,64	44,32	66,2	9,23032	13,8261
11.30 - 12.00	345,77	323,85	319,9	5154,25	5149,55	43,96	65,81	9,17833	13,7780
12.00 - 12.30	347,9	325,28	321,1	5148,94	5144,22	43,53	65,31	9,11581	13,7158
12.30 - 13.00	350,56	326,9	321,9	5145,37	5140,74	43,24	64,99	9,07416	13,6753
13.00 - 13.30	350,14	326,84	321,4	5147,58	5143,15	43,42	65,21	9,09988	13,7033
13.30 - 14.00	349,61	327,4	321,3	5147,69	5143,66	43,42	65,26	9,10125	13,7093
14.00 - 14.30	348,09	325,23	320,8	5150,16	5145,61	43,63	65,44	9,13013	13,7319
14.30 - 15.00	346,17	324,32	320,3	5152,04	5147,48	43,78	65,62	9,15224	13,7538
15.00 - 15.30	342,61	322,48	319,3	5156,15	5151,73	44,12	66,02	9,20091	13,8037
15.30 - 16.00	339,96	321,43	318,7	5158,29	5153,94	44,29	66,23	9,22639	13,8297
16.00 - 16.30	332,71	318,08	316,8	5165,91	5161,66	44,93	66,97	9,31779	13,9213
16.30 – 17.00	327,32	315,88	315,6	5171	5166,93	45,37	67,48	9,37946	13,9844
Deney No:10									
Zaman	T _{ap,m} (K)	T _{c,m} (K)	T _{bp,m} (K)	Re ₁	Re ₂	Nu ₁	Nu ₂	h ₁ (W/m ² K)	h ₂ (W/m ² K)
09.00 - 09.30	330,12	315,99	317,2	5164,47	5158,86	44,81	66,7	9,30041	13,8880
09.30 - 10.00	334,45	317,74	318,4	5159,64	5153,66	44,41	66,2	9,24241	13,8264
10.00 - 10.30	338,6	319,7	319,7	5153,28	5147,13	43,88	65,58	9,16693	13,7497
10.30 - 11.00	342,02	321,08	321,3	5147,06	5140,48	43,37	64,96	9,09385	13,6723
11.00 - 11.30	345,83	323,1	323,2	5139,24	5132,17	42,75	64,19	9,00311	13,5765
11.30 - 12.00	349,71	325,34	325,0	5131,23	5124	42,11	63,45	8,9115	13,4834
12.00 - 12.30	354,05	326,35	326,9	5123,81	5115,53	41,54	62,7	8,82769	13,3880
12.30 - 13.00	355,91	327,58	328,1	5118,45	5110,02	41,13	62,21	8,76782	13,3265
13.00 - 13.30	357,55	328,84	330,0	5109,97	5101,16	40,49	61,44	8,67435	13,2286
13.30 - 14.00	356,82	329,36	330,9	5105,31	5096,4	40,15	61,03	8,62348	13,1764
14.00 - 14.30	355,94	328,17	330,6	5106,95	5097,78	40,27	61,14	8,64131	13,1915
14.30 - 15.00	355,4	327,85	330,4	5107,82	5098,6	40,33	61,22	8,65087	13,2005
15.00 - 15.30	351,85	325,62	328,3	5116,89	5108,08	41,01	62,04	8,75059	13,3050
15.30 - 16.00	349,02	324,71	327,5	5120,21	5111,82	41,26	62,37	8,78744	13,3466
16.00 - 16.30	343,87	322,95	325,8	5126,48	5118,82	41,74	62,99	8,85775	13,4250
16.30 – 17.00	337,63	321,1	324,3	5132,21	5125,09	42,19	63,55	8,92263	13,4958

Çift hava kanallı güneş kolektörlerinde üst tarafta cam örtü bulunması ve alt tarafta yalıtım bulunması nedeniyle kanallarda farklı ısı taşınım katsayıları mevcut olacaktır. Bu çalışma kapsamında, her iki yüzeyi de güneş ışınlamına maruz kalan üst ve bir yüzeyi güneş ışınlamına maruz diğer yüzeyi yalıtılmış alt kanal için ayrı boyutsuz Nusselt sayıları elde edilmiştir. Çizelge 8.6’da seçici yüzeyli düzlemsel kolektörler için literatürden alınan ve tez kapsamında çoklu eğri uydurulması sonucu elde edilen Nusselt sayıları verilmiştir. Deneysel olarak elde edilen bağıntılar $2300 < Re < 5200$ ve $D_h/L = 0,066$ aralığında geçerlidir.

Çizelge 8.6. Çift hava kanallı ve seçici yüzeyli güneş kolektörü için bulunan Nusselt sayısı bağıntıları

Seçici yüzeyli çift hava kanallı kolektör	Üst kanal	Alt kanal
Teorik Nu sayısı	$0,86.Re^{0,5}.Pr^{0,33}$	$0,86.Re^{0,5}.Pr^{0,33}$
Deneysel Nu sayısı	$3,28857.Re^{0,474}.Pr^{4,7408}$ $R^2 = 0,974$	$4,275.Re^{0,45}.Pr^{3,5934}$ $R^2 = 0,913$

Şekil 8.2’de akışkan kütleli debisine karşılık gelen literatürden alınan Sparrow (1979) eşitliği ve tez kapsamında deneysel verilere bağlı olarak çoklu eğri uydurma sonucu hesaplanan ısı taşınım katsayıları gösterilmiştir.



Şekil 8.2. Seçici yüzeyli kolektör için çalışma akışkanı kütleli debisine karşılık gelen literatür ve tez modeli ısı taşınım katsayıları

8.1.2 Kıvrımlı galvaniz oluk yüzeyli kolektörün modellenmesi

Kıvrımlı galvaniz oluk yutucu levhaya sahip çift hava kanallı kolektörler için yapılan Deney No:11-15’de kolektör boyunca 0,5 m aralıklarla ölçülen yutucu levha sıcaklığının ortalama değeri, Bölüm 8.1’de ki eşitliklerden sayısal olarak çözümlenen cam örtü, alt levha sıcaklıkları, üst ve alt kanal için Reynolds ve Nusselt sayıları ve ısı taşınım katsayıları Çizelge 8.7-8.11’de verilmektedir.

Çizelge 8.7. Deney No:11 için cam örtü, alt levha sıcaklıkları ve ısı taşınım katsayıları

Kolektör Alanı:2 m²				Akışkan debisi: 0,025 kg/sm²					
Yutucu Yüzey: Galvaniz oluklu yüzey				Üst örtü: Düşük demir oksitli cam					
Kolektör Tipi: Çift hava kanallı				Kolektör Eğimi: 40°					
Deney No:11									
Zaman	T _{ap,m} (K)	T _{c,m} (K)	T _{bp,m} (K)	Re ₁	Re ₂	Nu ₁	Nu ₂	h ₁ (W/m ² K)	h ₂ (W/m ² K)
10.00 - 10.30	351,44	318,90	338,2	2313,67	2304,69	20,24	26,79	4,291	5,746
10.30 - 11.00	358,52	322,72	343,9	2307,62	2297,72	20,31	26,65	4,341	5,767
11.00 - 11.30	366,28	326,74	350,8	2297,78	2286,77	20,26	26,52	4,384	5,821
11.30 - 12.00	369,79	328,15	353,8	2294,57	2283,01	20,24	26,34	4,398	5,809
12.00 - 12.30	372,01	327,31	355,7	2292,45	2280,05	20,35	26,39	4,434	5,842
12.30 - 13.00	377,47	331,13	360,9	2284,21	2271,24	20,23	26,31	4,454	5,89
13.00 - 13.30	381,21	329,27	364,6	2278,72	2264,13	20,20	26,37	4,48	5,958
13.30 - 14.00	381,38	332,61	365,3	2274,76	2260,92	20,12	26,53	4,485	6,018
14.00 - 14.30	382,69	333,09	367,1	2270,54	2256,48	19,91	26,41	4,462	6,025
14.30 - 15.00	381,54	332,80	366,8	2268,26	2254,49	19,40	26,14	4,36	5,978
15.00 - 15.30	377,72	330,71	363,8	2270,97	2257,74	19,27	26,15	4,316	5,955
15.30 - 16.00	373,23	330,72	360,4	2273,02	2261,00	19,14	26,33	4,276	5,973
16.00 - 16.30	368,09	329,57	356,3	2276,30	2265,41	19,33	26,68	4,3	6,017
16.30 - 17.00	359,43	325,63	349,4	2283,15	2273,42	19,26	27,67	4,248	6,178

Çizelge 8.8. Deney No:12 için cam örtü, alt levha sıcaklıkları ve ısı taşınım katsayıları

Kolektör Alanı:2 m²				Akışkan debisi: 0,033 kg/sm²					
Yutucu Yüzey: Galvaniz oluklu yüzey				Üst örtü: Düşük demir oksitli cam					
Kolektör Tipi: Çift hava kanallı				Kolektör Eğimi: 40°					
Deney No:1									
Zaman	T _{ap,m} (K)	T _{c,m} (K)	T _{bp,m} (K)	Re ₁	Re ₂	Nu ₁	Nu ₂	h ₁ (W/m ² K)	h ₂ (W/m ² K)
10.00 - 10.30	344,64	316,91	332,0	3058,93	3049,43	24,04	33,65	5,072	7,166
10.30 - 11.00	351,28	320,23	337,1	3051,55	3041,06	24,07	32,99	5,115	7,084
11.00 - 11.30	358,33	323,33	343,3	3039,43	3027,70	24,11	32,60	5,185	7,091
11.30 - 12.00	362,37	327,32	346,5	3034,13	3022,35	24,16	32,49	5,224	7,105
12.00 - 12.30	366,07	328,52	349,5	3029,66	3017,05	24,20	32,35	5,254	7,11
12.30 - 13.00	368,56	331,36	352,3	3021,7	3009,08	23,87	32,21	5,224	7,135
13.00 - 13.30	372,28	332,72	356,1	3012,49	2998,96	23,78	32,29	5,25	7,223
13.30 - 14.00	372,15	332,45	356,8	3008,34	2994,67	23,51	32,36	5,211	7,269
14.00 - 14.30	373,26	331,72	358,5	3002,64	2988,34	23,32	32,38	5,199	7,318
14.30 - 15.00	372,91	331,71	358,9	2998,98	2984,60	22,89	32,67	5,121	7,41
15.00 - 15.30	369,7	331,13	356,4	3001,74	2988,31	22,90	32,76	5,11	7,403
15.30 - 16.00	365,75	330,15	353,6	3004,35	2991,88	22,74	33,13	5,06	7,462
16.00 - 16.30	360,58	330,25	349,8	3008,54	2997,95	22,20	32,85	4,92	7,355
16.30 - 17.00	352,873	325,48	343,8	3017,05	3007,26	22,10	34,58	4,857	7,674

Çizelge 8.9. Deney No:13 için cam örtü, alt levha sıcaklıkları ve ısı taşınım katsayıları

Kolektör Alanı:2 m²				Akışkan debisi: 0,04 kg/sm²					
Yutucu Yüzey: Galvaniz oluklu yüzey				Üst örtü: Düşük demir oksitli cam					
Kolektör Tipi: Çift hava kanallı				Kolektör Eğimi: 40°					
Deney No:1									
Zaman	T _{ap,m} (K)	T _{c,m} (K)	T _{bp,m} (K)	Re ₁	Re ₂	Nu ₁	Nu ₂	h ₁ (W/m²K)	h ₂ (W/m²K)
10.00 - 10.30	342,127	318,46	329,7	3707,51	3698,08	27,73	39,81	5,853	8,465
10.30 - 11.00	347,337	321,525	333,3	3701,38	3691,27	27,99	39,22	5,936	8,387
11.00 - 11.30	354,032	325,573	339,1	3687,12	3676,01	27,87	38,73	5,98	8,384
11.30 - 12.00	358,78	328,161	342,8	3680,04	3668,21	28,15	38,49	6,074	8,385
12.00 - 12.30	362,39	330,6	345,7	3674,29	3662,01	28,09	38,25	6,089	8,374
12.30 - 13.00	364,922	332,215	348,5	3664,95	3652,21	27,86	38,13	6,085	8,413
13.00 - 13.30	368,077	335,076	352,0	3653,23	3640,23	27,55	38,04	6,075	8,474
13.30 - 14.00	368,767	335,31	353,2	3648,29	3635,00	27,45	38,21	6,075	8,547
14.00 - 14.30	369,967	336,139	354,9	3641,36	3627,86	27,14	38,13	6,04	8,577
14.30 - 15.00	366,827	334,703	353,6	3637,82	3624,74	26,72	38,92	5,964	8,777
15.00 - 15.30	363,925	333,241	351,6	3640,90	3628,43	26,45	38,93	5,89	8,753
15.30 - 16.00	359,402	332,715	348,5	3644,75	3633,77	26,26	39,50	5,83	8,844
16.00 - 16.30	355,23	330,66	345,5	3649,70	3639,48	26,17	40,28	5,786	8,978
16.30 – 17.00	352,007	329,524	343,1	3653,80	3644,43	26,07	40,64	5,746	9,023

Çizelge 8.10. Deney No:14 için cam örtü, alt levha sıcaklıkları ve ısı taşınım katsayıları

Kolektör Alanı:2 m²				Akışkan debisi: 0,048 kg/sm²					
Yutucu Yüzey: Galvaniz oluklu yüzey				Üst örtü: Düşük demir oksitli cam					
Kolektör Tipi: Çift hava kanallı				Kolektör Eğimi: 40°					
Deney No:1									
Zaman	T _{ap,m} (K)	T _{c,m} (K)	T _{bp,m} (K)	Re ₁	Re ₂	Nu ₁	Nu ₂	h ₁ (W/m ² K)	h ₂ (W/m ² K)
10.00 - 10.30	338,422	318,984	327,4	4447,03	4438,16	31,51	46,39	6,659	9,861
10.30 - 11.00	343,9	321,68	331,0	4439,29	4429,49	32,45	45,89	6,893	9,813
11.00 - 11.30	347,942	324,221	334,3	4429,73	4419,33	32,39	45,44	6,925	9,783
11.30 - 12.00	353,067	325,731	338,2	4420,05	4408,04	32,50	45,30	6,994	9,827
12.00 - 12.30	355,262	328,702	340,2	4413,53	4401,77	31,66	44,60	6,843	9,716
12.30 - 13.00	358,83	331,209	343,5	4402,92	4390,57	31,46	44,53	6,849	9,773
13.00 - 13.30	362,255	332,14	346,9	4391,28	4377,69	31,22	44,48	6,849	9,847
13.30 - 14.00	363,217	332,597	348,3	4384,78	4370,86	30,85	44,44	6,798	9,882
14.00 - 14.30	365,392	334,661	350,7	4374,77	4360,58	30,21	44,35	6,7	9,929
14.30 - 15.00	365,767	335,554	351,9	4367,59	4353,34	29,46	44,66	6,565	10,048
15.00 - 15.30	362,385	332,702	349,5	4372,71	4358,79	29,73	45,20	6,603	10,133
15.30 - 16.00	359,36	330,459	347,5	4376,04	4362,47	29,13	45,39	6,455	10,151
16.00 - 16.30	355,082	328,05	344,3	4383,99	4371,28	29,17	46,06	6,431	10,24
16.30 - 17.00	350,597	325,213	341,2	4390,55	4378,50	28,11	46,86	6,17	10,367

Çizelge 8.11. Deney No:15 için cam örtü, alt levha sıcaklıkları ve ısı taşınım katsayıları

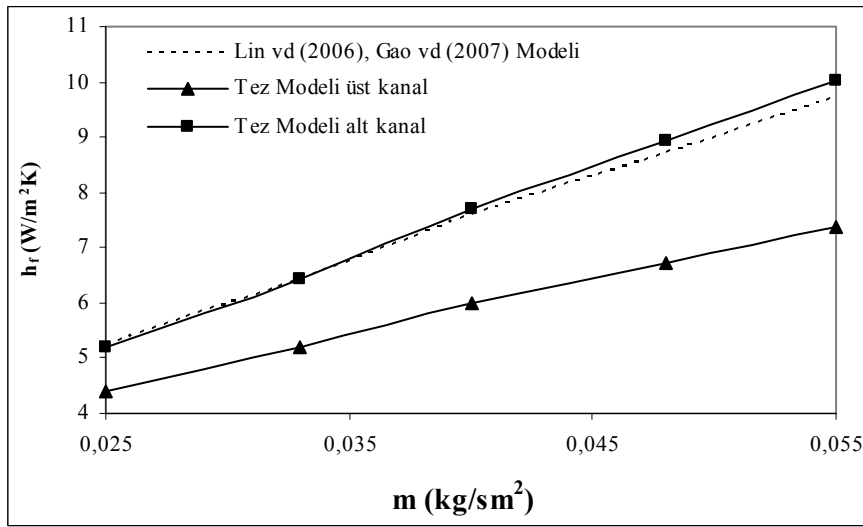
Kolektör Alanı:2 m²				Akışkan debisi: 0,055 kg/sm²					
Yutucu Yüzey: Galvaniz oluklu yüzey				Üst örtü: Düşük demir oksitli cam					
Kolektör Tipi: Çift hava kanallı				Kolektör Eğimi: 40°					
Deney No:1									
Zaman	T _{ap,m} (K)	T _{c,m} (K)	T _{bp,m} (K)	Re ₁	Re ₂	Nu ₁	Nu ₂	h ₁ (W/m ² K)	h ₂ (W/m ² K)
10.00 - 10.30	335,085	316,267	324,3	5104,61	5095,13	33,63	51,23	7,068	10,827
10.30 - 11.00	338,582	318,523	326,6	5098,97	5089,03	33,93	50,55	7,156	10,723
11.00 - 11.30	343,155	320,293	329,7	5090,65	5079,54	34,55	50,20	7,322	10,708
11.30 - 12.00	347,542	322,539	333,4	5077,32	5065,24	34,54	49,77	7,377	10,705
12.00 - 12.30	350,63	324,728	336,1	5067,56	5054,95	34,17	49,47	7,34	10,705
12.30 - 13.00	355,26	328,442	340,1	5052,84	5039,73	33,66	48,81	7,293	10,658
13.00 - 13.30	357,77	330,541	343,2	5038,19	5024,61	32,85	48,70	7,179	10,727
13.30 - 14.00	360,045	331,995	345,7	5026,85	5012,84	32,78	48,71	7,212	10,804
14.00 - 14.30	360,595	332,152	347,0	5018,77	5004,36	32,45	49,22	7,173	10,971
14.30 - 15.00	360,935	333,087	348,0	5011,72	4997,48	32,02	49,41	7,106	11,056
15.00 - 15.30	358,682	331,406	346,6	5014,53	5000,50	31,63	49,83	7,009	11,13
15.30 - 16.00	354,542	330,263	343,7	5020,89	5008,21	31,44	50,79	6,941	11,294
16.00 - 16.30	352,08	329,351	342,1	5024,52	5012,55	31,06	51,35	6,843	11,39
16.30 - 17.00	346,31	326,008	338,0	5036,01	5025,27	30,05	52,26	6,575	11,508

Kıvrımlı galvaniz oluk yüzeye sahip kolektörler için literatüründen alınan ve tez kapsamında çoklu eğri uydurulması sonucu elde edilen Nusselt sayıları Çizelge 8.12’de verilmiştir.

Çizelge 8.12. Çift hava kanallı ve kıvrımlı galvaniz oluk yüzeyli güneş kolektörü için bulunan Nusselt sayısı bağıntıları

Galvaniz oluk yüzeyli çift hava kanallı kolektör	Üst kanal	Alt kanal
Teorik Nusselt sayısı	$0,0743.Re^{0,76}$	$0,0743.Re^{0,76}$
DeneySEL Nusselt sayısı	$0,264.Re^{0,631}.Pr^{1,695}$ $R^2 = 0,988$	$0,05.Re^{0,808}.Pr^{-0,053}$ $R^2 = 0,996$

Deneysel olarak elde edilen bağıntılar $2300 < Re < 5200$ ve $D_h/L = 0,066$ aralığında geçerlidir. Şekil 8.3’de akışkan kütledebisine karşılık gelen literatürden alınan Lin vd. (2006) ve Gao vd. (2007) eşitliği ve tez kapsamında deneysel verilere bağlı olarak çoklu eğri uydurma sonucu hesaplanan ısı taşınım katsayıları gösterilmiştir.



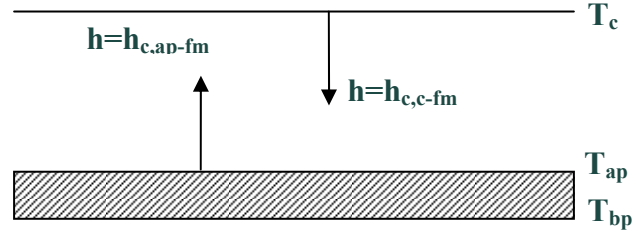
Şekil 8.3. Kıvrımlı galvaniz oluk yüzeyli kolektör için çalışma akışkanı kütledebisine karşılık gelen literatür ve tez modeli ısı taşınım katsayıları

8.2. Tek hava kanallı düzlemsel kolektörün modellenmesi

Tek hava kanallı güneş kolektörlerinde hava yutucu levhanın üzerinden akmaktadır. Literatürde kolektörlerin modellenmesinde sadece yutucu levha ile akışkan hava arasındaki ısı taşınımı göz önüne alınarak

korelasyonlar türetilmiştir. Bu çalışma kapsamında, cam örtü sıcaklığı da dikkate alınarak Nusselt sayısı bağıntısı elde edilmiştir.

Şekil 8.4’de, çift hava akışkanlı güneş kolektörlerinde oluşan ısı taşınım transfer mekanizması verilmiştir.



Şekil 8.4. Tek hava akışkanlı güneş kolektöründe ısı taşınım transfer

Kanaldaki akışkan için yararlı ısı miktarı aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir.

$$h_{c,ap-fm}(T_{ap} - T_{fm}) + h_{c,c-fm}(T_c - T_{lm}) = \dot{m}_f C_p (T_{fi} - T_{fo})$$

Deneyler esnasında kolektör boyunca 0,5 m aralıklarla cam örtü, yutucu levha ve kanal içindeki hava sıcaklığı ölçülmüştür. Ölçüm sonuçlarının ortalamaları Çizelge 8.13-8.17’de verilmiştir. Dolayısıyla, bu eşitliklerden $h=h_{c,ap-fm}=h_{c,c-fm}$ değerleri bulunabilir. Isı taşınım katsayısı h Nusselt sayısı eşitliğinde yerine konulursa Nu hesaplanır.

Çizelge 8.13. Deney No:16 için ortalama deneysel cam örtü, akışkan, yutucu levha sıcaklıkları ve ısı taşınım katsayısı

Kolektör Alanı: 2 m²				Akışkan debisi: 0,025 kg/sm²		
Yutucu Yüzey: Siyaha boyanmış yüzey				Üst örtü: Düşük demir oksitli cam		
Kolektör Tipi: Tek hava kanallı düzlemsel				Kolektör Eğimi: 40		
Zaman	T_{c,m} (K)	T_{f,m} (K)	T_{ap,m} (K)	Re	Nu	h (W/m²K)
10.00 - 10.30	307,285	314,88	354,36	4782,86634	27,687	9,8505
10.30 - 11.00	309,08	317,105	361,3	4773,14615	27,547	9,861
11.00 - 11.30	311,859	321,145	369,453	4755,59754	27,434	9,93
11.30 - 12.00	314,28	324,345	376,933	4741,78896	27,299	9,967
12.00 - 12.30	316,006	327,405	382,723	4728,65931	27,311	10,054
12.30 - 13.00	318,683	330,855	387,795	4713,9432	27,22	10,113
13.00 - 13.30	319,754	333,46	392,138	4702,89202	27,108	10,141
13.30 - 14.00	321,796	336,34	393,173	4690,73436	27,069	10,203
14.00 - 14.30	323,442	338,42	393,633	4681,99285	27,044	10,249
14.30 - 15.00	323,669	338,775	390,543	4680,50416	26,99	10,238
15.00 - 15.30	323,918	338,705	386,955	4680,79763	27,071	10,267
15.30 - 16.00	322,123	336,13	379,025	4691,61873	27,187	10,242
16.00 - 16.30	319,868	333,04	370,313	4704,67028	27,532	10,288
16.30 - 17.00	317,108	329,15	361,065	4721,20448	27,693	10,242

Çizelge 8.14. Deney No:17 için ortalama deneysel cam örtü, akışkan, yutucu levha sıcaklıkları ve ısı taşınım katsayısı

Kolektör Alanı: 2 m²				Akışkan debisi: 0,033 kg/sm²		
Yutucu Yüzey: Siyaha boyanmış yüzey				Üst örtü: Düşük demir oksitli cam		
Kolektör Tipi: Tek hava kanallı düzlemsel				Kolektör Eğimi: 40		
Zaman	T_{c,m} (K)	T_{f,m} (K)	T_{ap,m} (K)	Re	Nu	h (W/m²K)
10.00 - 10.30	305,395	313,14	349,608	6323,45389	31,878	11,287
10.30 - 11.00	307,543	315,45	355,943	6310,09164	31,93	11,378
11.00 - 11.30	309,789	317,385	362,043	6298,94197	31,858	11,413
11.30 - 12.00	310,615	320,35	367,613	6281,93357	31,777	11,477
12.00 - 12.30	312,407	322,885	372,495	6267,4645	31,6	11,492
12.30 - 13.00	316,159	327,17	379,648	6243,15787	31,558	11,61
13.00 - 13.30	317,307	330,92	383,678	6222,0402	31,368	11,656
13.30 - 14.00	319,001	333,025	383,725	6210,24863	31,381	11,726
14.00 - 14.30	318,645	333,95	381,72	6205,08118	31,401	11,762
14.30 - 15.00	319,64	335,33	380,725	6197,38788	31,396	11,803
15.00 - 15.30	319,309	335,275	376,64	6197,69413	31,255	11,748
15.30 - 16.00	317,602	333,78	372,093	6206,03023	31,386	11,751
16.00 - 16.30	316,584	330,85	364,31	6222,43309	31,619	11,747
16.30 - 17.00	313,342	326,33	353,81	6247,9079	31,997	11,745

Çizelge 8.15. Deney No:18 için ortalama deneysel cam örtü, akışkan, yutucu levha sıcaklıkları ve ısı taşınım katsayısı

Kolektör Alanı:2 m ² Yutucu Yüzey: Siyaha boyanmış yüzey Kolektör Tipi: Tek hava kanallı düzlemsel				Akışkan debisi: 0,04 kg/sm ² Üst örtü: Düşük demir oksitli cam Kolektör Eğimi: 40		
Zaman	T _{c,m} (K)	T _{f,m} (K)	T _{ap,m} (K)	Re	Nu	h (W/m ² K)
10.00 - 10.30	307,465	313,255	343,425	7663,98464	35,857	12,7
10.30 - 11.00	309,003	314,97	351,323	7651,95583	35,451	12,616
11.00 - 11.30	312,089	318,83	359,848	7625,01987	35,154	12,644
11.30 - 12.00	314,058	321,56	365,198	7606,08352	35,012	12,687
12.00 - 12.30	316,421	324,93	372	7582,8372	34,86	12,748
12.30 - 13.00	318,87	328,19	376,758	7560,48447	34,684	12,795
13.00 - 13.30	321,334	330,845	379,933	7542,37715	34,626	12,864
13.30 - 14.00	322,694	333,225	381,895	7526,21893	34,524	12,907
14.00 - 14.30	324,162	335,215	381,483	7512,76153	34,58	12,996
14.30 - 15.00	324,845	336,945	380,875	7501,10143	34,599	13,062
15.00 - 15.30	324,408	336,02	376,693	7507,33137	34,707	13,071
15.30 - 16.00	323,662	334,94	371,393	7514,61835	34,8	13,069
16.00 - 16.30	322,056	333,235	365,825	7526,15118	35,103	13,124
16.30 - 17.00	320,155	330,785	357,69	7542,7854	35,407	13,152

Çizelge 8.16. Deney No:19 için ortalama deneysel cam örtü, akışkan, yutucu levha sıcaklıkları ve ısı taşınım katsayısı

Kolektör Alanı:2 m ² Yutucu Yüzey: Siyaha boyanmış yüzey Kolektör Tipi: Tek hava kanallı düzlemsel				Akışkan debisi: 0,048 kg/sm ² Üst örtü: Düşük demir oksitli cam Kolektör Eğimi: 40		
Zaman	T _{c,m} (K)	T _{f,m} (K)	T _{ap,m} (K)	Re	Nu	h (W/m ² K)
10.00 - 10.30	308,742	313,665	342,728	9193,32661	39,006	13,831
10.30 - 11.00	310,245	315,505	349,22	9177,85335	38,737	13,806
11.00 - 11.30	311,099	316,5	352,95	9169,50769	38,673	13,821
11.30 - 12.00	312,987	319,175	360,023	9147,14594	38,465	13,848
12.00 - 12.30	315,306	322,46	364,7	9119,83364	38,312	13,917
12.30 - 13.00	317,879	325,26	367,938	9096,68218	38,327	14,028
13.00 - 13.30	320,179	328,425	372,305	9070,65389	38,35	14,156
13.30 - 14.00	322,155	331,57	376,14	9044,93719	37,928	14,118
14.00 - 14.30	322,631	333,89	377,058	9026,0598	37,894	14,192
14.30 - 15.00	323,953	335,285	375,51	9014,74683	37,913	14,251
15.00 - 15.30	323,286	334,44	372,593	9021,5961	38,415	14,408
15.30 - 16.00	322,601	333,18	367,245	9031,82856	38,243	14,296
16.00 - 16.30	321,131	331,895	361,5	9042,28797	38,39	14,302
16.30 - 17.00	318,923	329,705	354,008	9060,16969	38,538	14,274

Çizelge 8.17. Deney No:20 için ortalama deneysel cam örtü, akışkan, yutucu levha sıcaklıkları ve ısı taşınım katsayısı

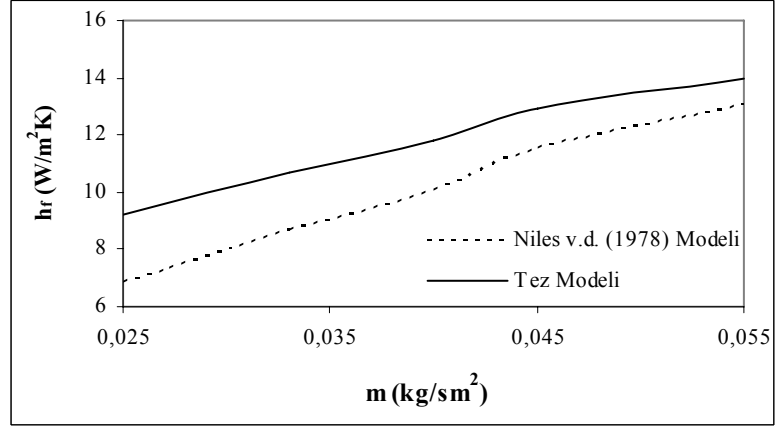
Kolektör Alanı: 2 m ²				Akışkan debisi: 0,055 kg/sm ²		
Yutucu Yüzey: Siyaha boyanmış yüzey				Üst örtü: Düşük demir oksitli cam		
Kolektör Tipi: Tek hava kanallı düzlemsel				Kolektör Eğimi: 40		
Zaman	T _{c,m} (K)	T _{f,m} (K)	T _{ap,m} (K)	Re	Nu	h (W/m ² K)
10.00 - 10.30	305,591	310,995	338,525	10559,8541	41,866	14,735
10.30 - 11.00	306,943	312,605	344,575	10544,2611	41,605	14,709
11.00 - 11.30	308,612	314,105	350,5425	10529,7749	41,375	14,689
11.30 - 12.00	311,316	316,92	357,5225	10502,6962	41,214	14,746
12.00 - 12.30	313,873	320,005	361,975	10473,1798	41,074	14,821
12.30 - 13.00	316,222	322,71	365,21	10447,4353	40,963	14,89
13.00 - 13.30	318,694	326,035	368,8975	10415,963	40,87	14,99
13.30 - 14.00	320,341	328,33	370,8625	10394,3503	40,776	15,048
14.00 - 14.30	318,701	328,24	368,1	10395,1962	40,718	15,023
14.30 - 15.00	318,141	329,04	367,755	10387,6822	40,737	15,062
15.00 - 15.30	316,209	327,855	363,93	10398,8161	40,929	15,085
15.30 - 16.00	314,182	325,925	358,1775	10417,0011	41,187	15,102
16.00 - 16.30	313,948	324,4	351,9575	10431,4151	41,507	15,157
16.30 - 17.00	313,055	322,93	345,596	10445,0624	41,87	15,23

Tek hava kanalına sahip düzlemsel kolektörler için literatürden alınan ve tez kapsamında çoklu eğri uydurulması sonucu elde edilen Nusselt sayıları Çizelge 8.18’de verilmiştir.

Çizelge 8.18. Tek hava kanallı düzlemsel güneş kolektörü için bulunan Nusselt sayısı bağıntısı

Kolektör tipi	Teorik Nu sayısı	Deneysel Nu sayısı
Düzlemsel kolektör	$0,0333.Re^{0,8}.Pr^{1,3}$	$0,383.Re^{0,514}.Pr^{0,255}$ $R^2=0,999$

Deneyssel olarak elde edilen bağıntılar $4500 < Re < 10000$ ve $D_h/L = 0,0385$ aralığında geçerlidir. Şekil 8.5’de akışkan kütleli debisine karşılık gelen literatürden alınan Niles vd. (1978) eşitliği ve tez kapsamında deneyssel verilere bağılı olarak çoklu eğri uydurma sonucu hesaplanan ısı taşıınım katsayıları gösterilmiştir.



Şekil 8.5. Düzlemsel yüzeyli kolektör için çalışma akışkanı kütleli debisine karşılık gelen literatür ve tez modeli ısı taşıınım katsayıları

8.3. Kolektörlerde Basınç Düşümünün ve Sürtünme Faktörü Katsayısının Modellenmesi

Kolektör boyunca olan basınç düşümü denklem 5.91 ile tanımlanmıştır. Basınç düşümünü etkileyen ana parametre f sürtünme katsayısıdır. Sürtünme katsayısı f denklem 5.91’den faydalanılarak aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$f = \frac{2 D_h \Delta P}{L \rho V_f^2} \quad (8.1)$$

Çizelge 8.19-8.23’de seçici yüzeyli kolektör için teorik ve deneysel olarak bulunan basınç düşümü ve sürtünme faktörü katsayısı değerleri verilmektedir.

Çizelge 8.19. Deney No:1 ve 2 için teorik ve deneysel olarak bulunan basınç düşümü ve sürtünme faktörü katsayısı

Kolektör Alanı:2,4 m ²				Akışkan debisi: 0,025 kg/sm ²				
Yutucu Yüzey: Seçici yüzey				Üst örtü: Temperli cam				
Kolektör Tipi: Çift hava kanallı				Kolektör Eğimi: 40°				
Deney No: 1								
Zaman	T _{f,i} (K)	T _{f,o} (K)	Re	f Teo.	ΔP [Pa] Teo.	ΔP [Pa] Den.	f Den.	Hata
09.00 - 09.30	308,89	322,025	4452,14	0,04005	18,15896	31	0,06837	0,06837
09.30 - 10.00	310,39	326,025	4440,97	0,040081	18,33473	31	0,06777	0,06777
10.00 - 10.30	310,85	327,53	4436,99	0,040093	18,39829	31	0,06755	0,06755
10.30 - 11.00	313,21	332,455	4422,30	0,040135	18,63746	31	0,06676	0,06676
11.00 - 11.30	313,62	334,925	4416,52	0,040152	18,73358	31	0,06644	0,06644
11.30 - 12.00	314,88	336,98	4409,89	0,040171	18,84535	31	0,06608	0,06608
12.00 - 12.30	315,18	339,16	4404,94	0,040185	18,92977	31	0,06581	0,06581
12.30 - 13.00	316,22	340,815	4399,58	0,0402	19,0223	32	0,06763	0,06763
13.00 - 13.30	317,84	342,76	4392,50	0,040221	19,14597	32	0,06722	0,06722
13.30 - 14.00	318,79	343,47	4389,21	0,040231	19,20406	32	0,06704	0,06704
14.00 - 14.30	319,22	343,045	4389,20	0,040231	19,20424	32	0,06704	0,06704
14.30 - 15.00	319,89	342,85	4388,26	0,040233	19,22092	32	0,06698	0,06698
15.00 - 15.30	317,95	337,12	4403,49	0,040189	18,95475	31	0,06573	0,06573
15.30 - 16.00	317,29	334,235	4410,56	0,040169	18,834	31	0,06612	0,06612
16.00 - 16.30	316,98	332,205	4415,24	0,040155	18,75506	31	0,06637	0,06637
16.30 – 17.00	315,89	328,125	4425,62	0,040125	18,58279	31	0,06694	0,06694
Deney No: 2								
Zaman	T _{f,i} (K)	T _{f,o} (K)	Re	f Teo.	ΔP [Pa] Teo.	ΔP [Pa] Den.	f Den.	Hata
09.00 - 09.30	314,89	327,675	4428,54	0,040117	18,53499	31	0,0671	0,0671
09.30 - 10.00	315,47	329,85	4423	0,040133	18,626	31	0,06679	0,06679
10.00 - 10.30	316,39	331,76	4417,32	0,040149	18,72034	31	0,06649	0,06649
10.30 - 11.00	319,24	337,955	4399,26	0,040201	19,02781	32	0,06761	0,06761
11.00 - 11.30	320,69	341,13	4390,08	0,040228	19,18863	32	0,06709	0,06709
11.30 - 12.00	321,94	343,39	4383,14	0,040248	19,31235	32	0,06669	0,06669
12.00 - 12.30	323,88	346,18	4373,83	0,040275	19,4814	32	0,06616	0,06616
12.30 - 13.00	328,06	350,76	4356,68	0,040326	19,80177	32	0,06517	0,06517
13.00 - 13.30	330,45	352,935	4347,79	0,040352	19,97258	33	0,06667	0,06667
13.30 - 14.00	331,51	354,015	4343,64	0,040364	20,0536	32	0,06441	0,06441
14.00 - 14.30	330,99	352,555	4347,48	0,040353	19,97862	33	0,06665	0,06665
14.30 - 15.00	330,16	350,45	4353,19	0,040336	19,86843	33	0,06699	0,06699
15.00 - 15.30	329,44	348,78	4357,85	0,040322	19,77952	32	0,06523	0,06523
15.30 - 16.00	328,51	346,47	4364,18	0,040304	19,66015	32	0,0656	0,0656
16.00 - 16.30	326,64	342,32	4375,99	0,040269	19,44185	32	0,06628	0,06628
16.30 - 17.00	325,79	337,32	4387,53	0,040235	19,23393	32	0,06694	0,06694

Çizelge 8.20. Deney No:3 ve 4 için teorik ve deneysel olarak bulunan basınç düşümü ve sürtünme faktörü katsayısı

Kolektör Alanı:2,4 m ²				Akışkan debisi: 0,033 kg/sm ²				
Yutucu Yüzey: Seçici yüzey				Üst örtü: Temperli cam				
Kolektör Tipi: Çift hava kanallı				Kolektör Eğimi: 40°				
Deney No: 3								
Zaman	T _{f,i} (K)	T _{f,o} (K)	Re	f Teo.	ΔP [Pa] Teo.	ΔP [Pa] Den.	f Den.	Hata
09.00 - 09.30	308,44	319,065	5886,01	0,036735	28,86413	46	0,05854	0,05854
09.30 - 10.00	309,02	321,7	5877,35	0,036751	29,02549	47	0,05951	0,05951
10.00 - 10.30	310,16	324,225	5867,51	0,03677	29,21146	47	0,05916	0,05916
10.30 - 11.00	311,22	326,095	5859,67	0,036785	29,36171	46	0,05763	0,05763
11.00 - 11.30	312,35	329,045	5848,79	0,036806	29,5733	47	0,05849	0,05849
11.30 - 12.00	312,88	331,055	5842,04	0,036819	29,70645	46	0,05701	0,05701
12.00 - 12.30	313,35	332,155	5837,87	0,036827	29,78929	47	0,0581	0,0581
12.30 - 13.00	314,22	333,925	5830,88	0,03684	29,92956	47	0,05785	0,05785
13.00 - 13.30	315,61	335,215	5823,79	0,036854	30,07321	48	0,05882	0,05882
13.30 - 14.00	316,65	336,18	5818,5	0,036864	30,1815	48	0,05863	0,05863
14.00 - 14.30	316,88	335,715	5819,12	0,036863	30,16877	47	0,05743	0,05743
14.30 - 15.00	316,45	333,915	5825,01	0,036851	30,04846	47	0,05764	0,05764
15.00 - 15.30	315,88	331,565	5832,73	0,036836	29,89225	46	0,05669	0,05669
15.30 - 16.00	315,21	329,145	5840,92	0,036821	29,72857	47	0,05821	0,05821
16.00 - 16.30	314,58	326,92	5848,51	0,036806	29,57878	46	0,05724	0,05724
16.30 – 17.00	313	322,76	5863,83	0,036777	29,28179	47	0,05903	0,05903
Deney No: 4								
Zaman	T _{f,i} (K)	T _{f,o} (K)	Re	f Teo.	ΔP [Pa] Teo.	ΔP [Pa] Den.	f Den.	Hata
09.00 - 09.30	315,08	324,9	5852,56	0,036799	29,4996	46	0,05738	0,05738
09.30 - 10.00	315,64	326,725	5846,21	0,036811	29,62402	46	0,05716	0,05716
10.00 - 10.30	317,33	329,955	5833,15	0,036836	29,88374	47	0,05793	0,05793
10.30 - 11.00	319,07	333,04	5820,4	0,03686	30,14253	47	0,05747	0,05747
11.00 - 11.30	320,84	336,4	5806,91	0,036886	30,42223	48	0,0582	0,0582
11.30 - 12.00	322,31	339,005	5796,23	0,036907	30,64782	47	0,0566	0,0566
12.00 - 12.30	324,02	341,525	5785,19	0,036928	30,88528	48	0,05739	0,05739
12.30 - 13.00	327,19	344,875	5768,26	0,036961	31,25798	48	0,05676	0,05676
13.00 - 13.30	329,48	346,99	5756,88	0,036983	31,51451	49	0,0575	0,0575
13.30 - 14.00	329,66	346,905	5756,63	0,036984	31,52009	49	0,05749	0,05749
14.00 - 14.30	328,35	343,825	5767,98	0,036961	31,26434	47	0,05556	0,05556
14.30 - 15.00	328,11	342,62	5771,72	0,036954	31,181	48	0,05689	0,05689
15.00 - 15.30	328	341,245	5775,57	0,036947	31,09577	47	0,05584	0,05584
15.30 - 16.00	326,42	338,615	5786,52	0,036925	30,85647	48	0,05744	0,05744
16.00 - 16.30	325,49	336,595	5794,22	0,036911	30,6908	47	0,05652	0,05653
16.30 – 17.00	324,89	334,215	5802,02	0,036896	30,52509	48	0,05802	0,05802

Çizelge 8.21. Deney No:5 ve 6 için teorik ve deneysel olarak bulunan basınç düşümü ve sürtünme faktörü katsayısı

Kolektör Alanı:2,4 m ²				Akışkan debisi: 0,04 kg/sm ²				
Yutucu Yüzey: Seçici yüzey				Üst örtü: Temperli cam				
Kolektör Tipi: Çift hava kanallı				Kolektör Eğimi: 40°				
Deney No: 5								
Zaman	T _{f,i} (K)	T _{f,o} (K)	Re	f Teo.	ΔP [Pa] Teo.	ΔP [Pa] Den.	f Den.	Hata
09.00 - 09.30	309	318,07	7135,98	0,034683	40,01159	63	0,05461	0,05461
09.30 - 10.00	309,31	320,195	7128,02	0,034694	40,18031	63	0,0544	0,0543985
10.00 - 10.30	310,69	322,785	7115,1	0,034713	40,45819	64	0,05491	0,0549118
10.30 - 11.00	311,33	324,26	7108,23	0,034723	40,60767	63	0,05387	0,0538701
11.00 - 11.30	312,55	326,87	7095,82	0,034741	40,88096	64	0,05439	0,0543873
11.30 - 12.00	312,98	328,64	7088,72	0,034751	41,03947	64	0,05419	0,0541932
12.00 - 12.30	313,88	329,91	7081,72	0,034761	41,19693	65	0,05485	0,0548456
12.30 - 13.00	314,08	331,44	7076,16	0,034769	41,32326	65	0,05469	0,0546906
13.00 - 13.30	313,65	330,965	7079,07	0,034765	41,25708	64	0,05393	0,053929
13.30 - 14.00	313,31	330,395	7082	0,034761	41,19074	64	0,05401	0,0540093
14.00 - 14.30	313,19	329,775	7084,38	0,034757	41,13693	63	0,05323	0,0532297
14.30 - 15.00	313,07	328,91	7087,56	0,034753	41,06551	64	0,05416	0,0541615
15.00 - 15.30	312,78	327,4	7093,37	0,034744	40,93559	64	0,05432	0,0543203
15.30 - 16.00	312,75	325,455	7099,75	0,034735	40,7939	63	0,05364	0,053643
16.00 - 16.30	312,11	322,61	7111,05	0,034719	40,54606	63	0,05395	0,0539457
16.30 – 17.00	312,01	320,15	7119,37	0,034707	40,36575	64	0,05503	0,0550278
Deney No: 6								
Zaman	T _{f,i} (K)	T _{f,o} (K)	Re	f Teo.	ΔP [Pa] Teo.	ΔP [Pa] Den.	f Den.	Hata
09.00 - 09.30	313,88	322,09	7106,99	0,034725	40,63463	63	0,05384	0,0538371
09.30 - 10.00	314,48	323,65	7100	0,034735	40,78853	63	0,05365	0,0536495
10.00 - 10.30	315,22	325,77	7090,75	0,034748	40,99396	64	0,05425	0,0542488
10.30 - 11.00	316,33	327,55	7081,43	0,034761	41,20348	64	0,05399	0,0539939
11.00 - 11.30	317,21	329,71	7071,66	0,034776	41,42601	64	0,05373	0,0537257
11.30 - 12.00	319,29	332,76	7055,23	0,034799	41,80658	63	0,05244	0,0524407
12.00 - 12.30	320,98	335,71	7040,43	0,034821	42,15638	65	0,05369	0,0536898
12.30 - 13.00	321,72	336,85	7034,45	0,03483	42,29965	64	0,0527	0,052698
13.00 - 13.30	323,12	338,01	7026,32	0,034842	42,49618	65	0,05329	0,053292
13.30 - 14.00	324,65	338,825	7018,9	0,034852	42,67769	65	0,05308	0,0530819
14.00 - 14.30	325,24	339,085	7016,21	0,034856	42,74384	64	0,05219	0,0521903
14.30 - 15.00	324,21	337,39	7024,83	0,034844	42,53245	65	0,05325	0,0532499
15.00 - 15.30	322,69	334,61	7038,49	0,034824	42,20277	65	0,05364	0,0536351
15.30 - 16.00	321,54	331,94	7050,66	0,034806	41,91381	64	0,05315	0,053147
16.00 - 16.30	320,92	330,42	7057,5	0,034796	41,75353	64	0,05334	0,0533358
16.30 - 17.00	320,78	328,68	7063,51	0,034787	41,61364	65	0,05434	0,0543376

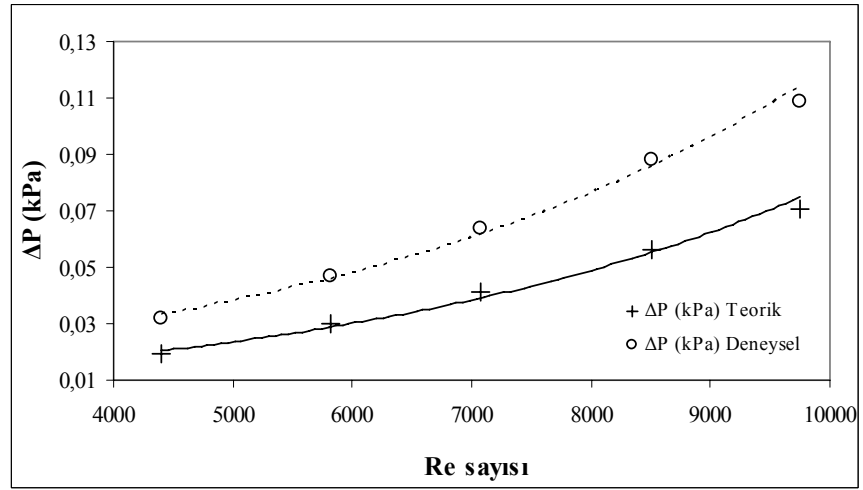
Çizelge 8.22. Deney No:7 ve 8 için teorik ve deneysel olarak bulunan basınç düşümü ve sürtünme faktörü katsayısı

Kolektör Alanı:2,4 m ²				Akışkan debisi: 0,048 kg/sm ²				
Yutucu Yüzey: Seçici yüzey				Üst örtü: Temperli cam				
Kolektör Tipi: Çift hava kanallı				Kolektör Eğimi: 40°				
Deney No: 7								
Zaman	T _{f,i} (K)	T _{f,o} (K)	Re	f Teo.	ΔP [Pa] Teo.	ΔP [Pa] Den.	f Den.	Hata
09.00 - 09.30	308,75	316,205	8571,48	0,032885	54,44744	87	0,05255	0,05255
09.30 - 10.00	309,14	317,995	8562,92	0,032895	54,65186	87	0,05237	0,05237
10.00 - 10.30	310,42	320,435	8548,35	0,032911	55,00394	88	0,05265	0,05265
10.30 - 11.00	311,2	322,075	8538,89	0,032921	55,23523	87	0,05185	0,05185
11.00 - 11.30	312,38	324,245	8525,85	0,032936	55,55837	88	0,05217	0,05217
11.30 - 12.00	312,79	325,815	8518,15	0,032944	55,751	87	0,05141	0,05141
12.00 - 12.30	313,67	327,145	8509,58	0,032954	55,96746	88	0,05181	0,05181
12.30 - 13.00	314	328,405	8503,42	0,032961	56,12415	88	0,05168	0,05168
13.00 - 13.30	313,42	327,895	8507,64	0,032956	56,01665	88	0,05177	0,05177
13.30 - 14.00	313,32	327,625	8509,08	0,032954	55,98024	87	0,05122	0,05122
14.00 - 14.30	313,16	326,995	8512,14	0,032951	55,90265	87	0,05128	0,05128
14.30 - 15.00	313,01	326,155	8515,98	0,032947	55,8057	87	0,05136	0,05136
15.00 - 15.30	312,76	324,755	8522,39	0,03294	55,64481	88	0,05209	0,05209
15.30 - 16.00	312,74	323,8	8526,18	0,032935	55,55013	87	0,05158	0,05158
16.00 - 16.30	312,07	320,705	8540,85	0,032919	55,1873	87	0,0519	0,0519
16.30 - 17.00	311,88	318,715	8549,36	0,03291	54,9792	88	0,05268	0,05268
Deney No: 8								
Zaman	T _{f,i} (K)	T _{f,o} (K)	Re	f Teo.	ΔP [Pa] Teo.	ΔP [Pa] Den.	f Den.	Hata
09.00 - 09.30	313,71	320,39	8535,68	0,032925	55,31449	87	0,05179	0,05179
09.30 - 10.00	314,33	322,265	8525,96	0,032936	55,55546	87	0,05158	0,05158
10.00 - 10.30	315,07	324,185	8515,63	0,032947	55,8145	88	0,05195	0,05195
10.30 - 11.00	316,11	326,08	8504,26	0,03296	56,10292	88	0,0517	0,0517
11.00 - 11.30	317,51	328,28	8490,35	0,032975	56,46044	89	0,05198	0,05198
11.30 - 12.00	318,97	330,545	8476	0,032991	56,83483	88	0,05108	0,05108
12.00 - 12.30	320,17	332,63	8463,39	0,033005	57,1688	89	0,05138	0,05138
12.30 - 13.00	321,26	333,94	8454,21	0,033016	57,4151	89	0,05118	0,05118
13.00 - 13.30	323,12	335,675	8440,48	0,033031	57,78772	89	0,05087	0,05087
13.30 - 14.00	324,49	336,385	8432,56	0,03304	58,00535	88	0,05013	0,05013
14.00 - 14.30	324,18	335,89	8435,62	0,033037	57,92094	89	0,05076	0,05076
14.30 - 15.00	324,07	335,6	8437,15	0,033035	57,87909	88	0,05023	0,05023
15.00 - 15.30	322,48	333,25	8452,18	0,033018	57,46976	89	0,05113	0,05113
15.30 - 16.00	322	332,005	8458,78	0,033011	57,29222	89	0,05128	0,05128
16.00 - 16.30	321,21	329,9	8469,88	0,032998	56,99654	89	0,05153	0,05153
16.30 - 17.00	320,84	327,55	8480,33	0,032986	56,72128	88	0,05118	0,05118

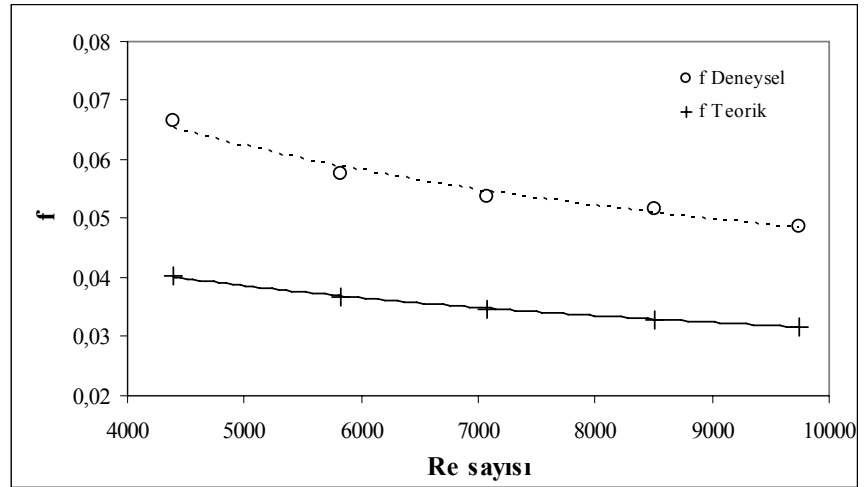
Çizelge 8.23. Deney No:9 ve 10 için teorik ve deneysel olarak bulunan basınç düşümü ve sürtünme faktörü katsayısı

Kolektör Alanı:2,4 m ²					Akışkan debisi: 0,055 kg/sm ²			
Yutucu Yüzey: Seçici yüzey					Üst örtü: Temperli cam			
Kolektör Tipi: Çift hava kanallı					Kolektör Eğimi: 40°			
Deney No: 9								
Zaman	T _{f,i} (K)	T _{f,o} (K)	Re	f Teo.	ΔP [Pa] Teo.	ΔP [Pa] Den.	f Den.	Hata
09.00 - 09.30	308,95	315,815	9822,34	0,031639	68,75471	108	0,0497	0,049698
09.30 - 10.00	309,26	317,19	9814,76	0,031645	68,95372	108	0,04957	0,0495653
10.00 - 10.30	310,57	319,51	9798,45	0,03166	69,38607	109	0,04974	0,0497358
10.30 - 11.00	311,88	321,49	9783,73	0,031674	69,78226	108	0,04902	0,0490204
11.00 - 11.30	312,51	323,08	9773,81	0,031683	70,05195	109	0,0493	0,0492979
11.30 - 12.00	312,91	324,48	9765,79	0,03169	70,27203	109	0,04915	0,0491548
12.00 - 12.30	313,84	325,815	9755,71	0,031699	70,55079	108	0,04853	0,0485255
12.30 - 13.00	314,16	327	9749,03	0,031705	70,73714	109	0,04886	0,0488552
13.00 - 13.30	313,64	326,535	9753,4	0,031701	70,61507	109	0,04893	0,0489335
13.30 - 14.00	313,59	326,45	9754	0,031701	70,59837	109	0,04894	0,0489443
14.00 - 14.30	313,38	325,72	9758,18	0,031697	70,4823	108	0,04857	0,0485692
14.30 - 15.00	313,27	325,03	9761,74	0,031694	70,38378	109	0,04908	0,0490825
15.00 - 15.30	312,91	323,61	9769,67	0,031686	70,1655	108	0,04877	0,0487724
15.30 - 16.00	312,86	322,735	9773,79	0,031683	70,05256	109	0,0493	0,0492975
16.00 - 16.30	312,29	320,05	9788,33	0,031669	69,65778	108	0,0491	0,0491015
16.30 – 17.00	312	318,15	9798,14	0,031661	69,39446	108	0,04927	0,049274
Deney No: 10								
Zaman	T _{f,i} (K)	T _{f,o} (K)	Re	f Teo.	ΔP [Pa] Teo.	ΔP [Pa] Den.	f Den.	Hata
09.00 - 09.30	313,53	319,71	9784,31	0,031673	69,76652	109	0,04948	0,0494846
09.30 - 10.00	314,01	321,36	9774,79	0,031682	70,02514	108	0,04886	0,0488629
10.00 - 10.30	314,88	323,23	9762,58	0,031693	70,36043	109	0,0491	0,0490976
10.30 - 11.00	315,91	324,945	9750,38	0,031704	70,6993	108	0,04843	0,0484311
11.00 - 11.30	317,28	327,025	9735,09	0,031718	71,1295	110	0,04905	0,0490512
11.30 - 12.00	318,64	329,135	9719,76	0,031732	71,56708	109	0,04833	0,0483296
12.00 - 12.30	319,94	331,255	9704,69	0,031746	72,00325	110	0,0485	0,0484987
12.30 - 13.00	321,02	332,52	9694,39	0,031756	72,30516	110	0,04831	0,0483106
13.00 - 13.30	322,95	334,34	9677,96	0,031771	72,79286	109	0,04757	0,0475734
13.30 - 14.00	324,21	335,125	9669,03	0,031779	73,06138	110	0,04785	0,0478459
14.00 - 14.30	324,09	334,59	9671,89	0,031776	72,97517	109	0,04746	0,047463
14.30 - 15.00	323,97	334,34	9673,5	0,031775	72,92656	111	0,04836	0,0483638
15.00 - 15.30	322,25	332,045	9691,08	0,031759	72,40287	110	0,04825	0,0482501
15.30 - 16.00	321,84	330,93	9697,77	0,031752	72,20577	110	0,04837	0,0483724
16.00 - 16.30	321,05	328,86	9710,35	0,031741	71,8388	109	0,04816	0,0481599
16.30 - 17.00	320,64	326,69	9721,72	0,03173	71,51069	109	0,04836	0,0483649

Seçici yüzeyli kolektörler için Reynolds sayısına karşılık gelen basınç düşümü ve sürtünme katsayısı değerleri sırasıyla Şekil 8.6 ve 8.7’de gösterilmiştir.



Şekil 8.6. Seçici yüzeyli kolektör için Reynolds sayısına karşılık gelen basınç düşümü değerleri



Şekil 8.7. Seçici yüzeyli kolektör için Reynolds sayısına karşılık gelen sürtünme faktörü katsayısı değerleri

Çizelge 8.24-8.28’de kıvrımlı galvaniz oluk yüzeyli kolektör için teorik ve deneysel olarak bulunan basınç düşümü ve sürtünme faktörü katsayısı değerleri verilmektedir. Kıvrımlı galvaniz oluk yüzeyli kolektörler için Re sayısına karşılık gelen basınç düşümü ve sürtünme katsayısı değerleri sırasıyla Şekil 8.8 ve 8.9’da gösterilmiştir.

Çizelge 8.24. Deney No:11 için teorik ve deneysel olarak bulunan basınç düşümü ve sürtünme faktörü katsayısı

Kolektör Alanı:2 m²				Akışkan debisi: 0,025 kg/sm²				
Yutucu Yüzey: Galvaniz oluklu yüzey				Üst örtü: Düşük demir oksitli cam				
Kolektör Tipi: Çift hava kanallı				Kolektör Eğimi: 40°				
Deney No: 11								
Zaman	T _{f,i} (K)	T _{f,o} (K)	Re	f Teo.	ΔP [Pa] Teo.	ΔP [Pa] Den.	f Den.	Hata
10.00 - 10.30	314,29	329,175	4336,12	0,040386	19,0772	40	0,08468	0,08468
10.30 - 11.00	316,21	333,47	4323,90	0,040422	19,29006	40	0,08382	0,08382
11.00 - 11.30	320,45	339,23	4304,38	0,04048	19,6418	40	0,08244	0,08244
11.30 - 12.00	321,66	341,395	4297,83	0,0405	19,76318	40	0,08197	0,08197
12.00 - 12.30	322,74	342,785	4293,05	0,040514	19,85288	41	0,08367	0,08367
12.30 - 13.00	326,48	347,355	4277,05	0,040563	20,16024	41	0,08249	0,08249
13.00 - 13.30	329,74	350,29	4265,20	0,040598	20,39511	41	0,08161	0,08161
13.30 - 14.00	331,74	351,82	4258,47	0,040619	20,5312	42	0,08309	0,08309
14.00 - 14.30	334,26	353,58	4250,35	0,040644	20,69847	42	0,08247	0,08247
14.30 - 15.00	336,16	353,795	4246,34	0,040656	20,78205	41	0,08021	0,08021
15.00 - 15.30	335,44	351,56	4251,94	0,040639	20,66544	41	0,08063	0,08063
15.30 - 16.00	334,89	349,48	4256,93	0,040624	20,56267	41	0,081	0,081
16.00 - 16.30	333,78	346,8	4264,15	0,040602	20,4162	41	0,08154	0,08154
16.30 - 17.00	331,47	341,81	4278,11	0,040559	20,13944	41	0,08257	0,08257

Çizelge 8.25. Deney No:12 için teorik ve deneysel olarak bulunan basınç düşümü ve sürtünme faktörü katsayısı

Kolektör Alanı:2 m²

Yutucu Yüzey: Galvaniz oluklu yüzey

Kolektör Tipi: Çift hava kanallı

Akışkan debisi: 0,033 kg/sm²

Üst örtü: Düşük demir oksitli cam

Kolektör Eğimi: 40°

Deney No: 12

Zaman	T _{f,i} (K)	T _{f,o} (K)	Re	f Teo.	ΔP [Pa] Teo.	ΔP [Pa] Den.	f Den.	Hata
10.00 - 10.30	313,89	325,205	5735,08	0,037026	30,25848	67	0,08198	0,08198
10.30 - 11.00	315,79	328,98	5720,29	0,037055	30,56344	67	0,08123	0,08123
11.00 - 11.30	319,89	334,12	5696,37	0,037102	31,07221	67	0,08	0,08
11.30 - 12.00	321,12	336,775	5686,37	0,037122	31,29079	67	0,07949	0,07949
12.00 - 12.30	322,46	339,015	5677,19	0,03714	31,49472	68	0,08019	0,08019
12.30 - 13.00	325,49	341,84	5662,23	0,03717	31,83357	68	0,0794	0,0794
13.00 - 13.30	329,12	345,36	5644,08	0,037206	32,25657	68	0,07843	0,07843
13.30 - 14.00	331,24	346,375	5636,15	0,037222	32,44532	68	0,07801	0,07801
14.00 - 14.30	333,97	348,13	5624,86	0,037245	32,71892	69	0,07855	0,07855
14.30 - 15.00	335,87	348,995	5617,91	0,037259	32,88972	69	0,07817	0,07817
15.00 - 15.30	335,12	347,325	5623,99	0,037247	32,74014	69	0,0785	0,0785
15.30 - 16.00	334,64	345,5	5629,79	0,037235	32,59883	68	0,07767	0,07767
16.00 - 16.30	333,46	342,855	5639,44	0,037216	32,3668	68	0,07819	0,07819
16.30 - 17.00	331,26	338,455	5656,16	0,037182	31,97353	68	0,07908	0,07908

Çizelge 8.26. Deney No:13 için teorik ve deneysel olarak bulunan basınç düşümü ve sürtünme faktörü katsayısı

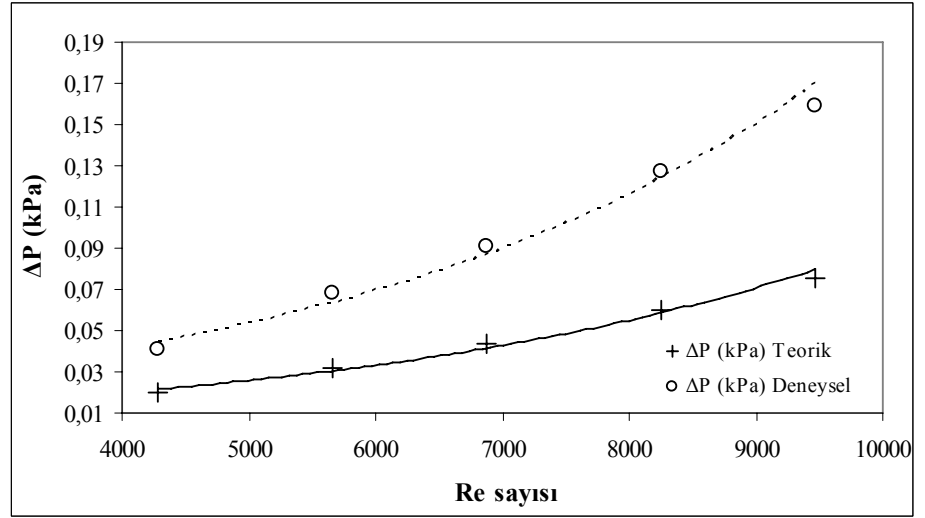
Kolektör Alanı:2 m²				Akışkan debisi: 0,04 kg/sm²				
Yutucu Yüzey: Galvaniz oluklu yüzey				Üst örtü: Düşük demir oksitli cam				
Kolektör Tipi: Çift hava kanallı				Kolektör Eğimi: 40°				
Deney No: 13								
Zaman	T _{f,i} (K)	T _{f,o} (K)	Re	f Teo.	ΔP [Pa] Teo.	ΔP [Pa] Den.	f Den.	Hata
10.00 - 10.30	314,33	324,315	6953,04	0,03495	41,93343	89	0,07418	0,0741774
10.30 - 11.00	315,41	327,075	6940,89	0,034968	42,21773	89	0,07372	0,073716
11.00 - 11.30	319,29	332,01	6913,17	0,035009	42,88392	90	0,07347	0,0734731
11.30 - 12.00	320,87	334,9	6899,19	0,03503	43,22918	90	0,07293	0,0729299
12.00 - 12.30	322,19	337,18	6887,98	0,035047	43,51097	91	0,0733	0,0732979
12.30 - 13.00	325,24	339,925	6870	0,035074	43,97176	91	0,07259	0,0725859
13.00 - 13.30	328,97	343,41	6847,76	0,035108	44,55819	92	0,07249	0,0724873
13.30 - 14.00	330,79	344,7	6838,21	0,035122	44,81544	92	0,0721	0,072101
14.00 - 14.30	333,27	346,54	6824,99	0,035142	45,17735	92	0,07156	0,0715644
14.30 - 15.00	335,41	346,45	6818,74	0,035152	45,35099	92	0,07131	0,0713098
15.00 - 15.30	334,87	344,905	6825,1	0,035142	45,1744	92	0,07157	0,0715688
15.30 - 16.00	334,11	342,84	6833,74	0,035129	44,93715	92	0,07192	0,0719197
16.00 - 16.30	333,08	340,605	6843,75	0,035114	44,6658	92	0,07233	0,0723252
16.30 - 17.00	332,11	338,81	6852,25	0,035101	44,43836	91	0,07188	0,0718788

Çizelge 8.27. Deney No:14 için teorik ve deneysel olarak bulunan basınç düşümü ve sürtünme faktörü katsayısı

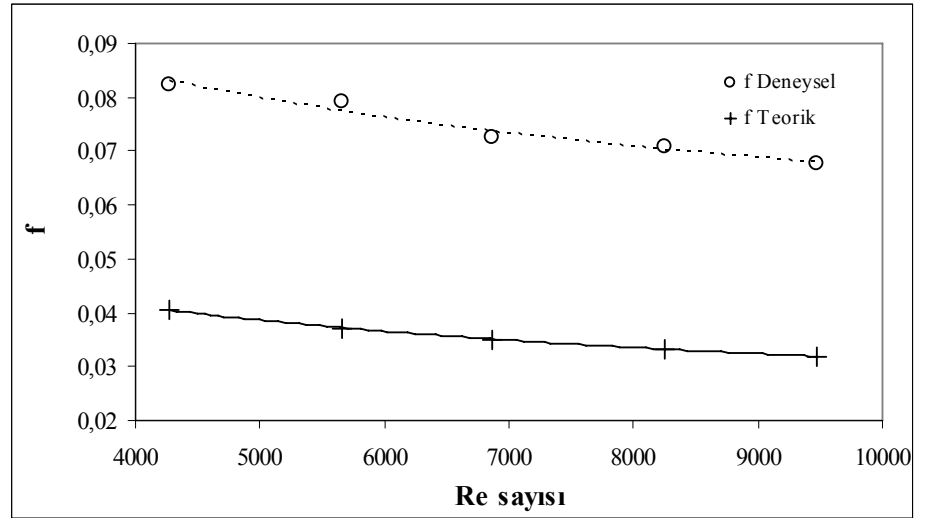
Kolektör Alanı:2 m ²				Akışkan debisi: 0,048 kg/sm ²				
Yutucu Yüzey: Galvaniz oluklu yüzey				Üst örtü: Düşük demir oksitli cam				
Kolektör Tipi: Çift hava kanallı				Kolektör Eğimi: 40° 0°				
Deney No: 14								
Zaman	T _{f,i} (K)	T _{f,o} (K)	Re	f Teo.	ΔP [Pa] Teo.	ΔP [Pa] Den.	f Den.	Hata
10.00 - 10.30	315,58	323,44	8342,23	0,033142	57,29663	126	0,07288	0,0728829
10.30 - 11.00	316,77	326,31	8326,82	0,03316	57,70689	126	0,0724	0,0724032
11.00 - 11.30	318,86	329,12	8308,3	0,033181	58,20928	126	0,07182	0,0718244
11.30 - 12.00	320,97	332,245	8288,61	0,033204	58,75498	127	0,07177	0,0717710
12.00 - 12.30	322,42	334	8276,6	0,033218	59,09376	127	0,07139	0,0713894
12.30 - 13.00	324,97	336,935	8256,13	0,033242	59,68196	127	0,07074	0,0707362
13.00 - 13.30	328,12	339,985	8233,1	0,033268	60,35999	128	0,07055	0,0705491
13.30 - 14.00	330,06	341,43	8220,59	0,033283	60,7362	128	0,07014	0,0701428
14.00 - 14.30	332,78	343,885	8201,53	0,033305	61,31982	128	0,06952	0,0695217
14.30 - 15.00	335,01	345,345	8188	0,033321	61,74234	128	0,06908	0,0690789
15.00 - 15.30	334,18	343,47	8197,91	0,033309	61,43208	128	0,0694	0,0694035
15.30 - 16.00	333,87	341,985	8204,51	0,033302	61,22779	128	0,06962	0,0696190
16.00 - 16.30	332,21	339,375	8220,24	0,033283	60,74682	128	0,07013	0,0701314
16.30 – 17.00	331,14	336,945	8233,18	0,033268	60,35778	128	0,07055	0,0705515

Çizelge 8.28. Deney No:15 için teorik ve deneysel olarak bulunan basınç düşümü ve sürtünme faktörü katsayısı

Kolektör Alanı:2 m²					Akışkan debisi: 0,055 kg/sm²			
Yutucu Yüzey: Galvaniz oluklu yüzey					Üst örtü: Düşük demir oksitli cam			
Kolektör Tipi: Çift hava kanallı					Kolektör Eğimi: 40°			
Deney No: 14								
Zaman	T _{f,i} (K)	T _{f,o} (K)	Re	f Teo.	ΔP [Pa] Teo.	ΔP [Pa] Den.	f Den.	Hata
10.00 - 10.30	314,12	320,855	9576,45	0,031865	71,85655	158	0,07007	0,0700661
10.30 - 11.00	314,87	322,63	9565,43	0,031876	72,17338	158	0,06978	0,0697812
11.00 - 11.30	316,23	325,11	9548,7	0,031891	72,66018	158	0,06935	0,0693479
11.30 - 12.00	318,97	328,355	9522,76	0,031916	73,43107	158	0,06867	0,0686726
12.00 - 12.30	320,97	330,72	9503,93	0,031934	74,00288	159	0,06861	0,0686116
12.30 - 13.00	323,95	334,285	9475,83	0,03196	74,87582	159	0,06787	0,0678684
13.00 - 13.30	327,46	337,325	9447,87	0,031987	75,76867	159	0,06712	0,0671246
13.30 - 14.00	330,11	339,785	9426,18	0,032008	76,47902	159	0,06654	0,0665444
14.00 - 14.30	332,29	341,285	9410,62	0,032023	76,99826	160	0,06654	0,0665424
14.30 - 15.00	334,12	342,555	9397,55	0,032035	77,44075	160	0,06619	0,0661882
15.00 - 15.30	333,87	341,505	9403,02	0,03203	77,25462	160	0,06634	0,0663367
15.30 - 16.00	332,79	339,455	9416,23	0,032017	76,80985	160	0,06669	0,0666944
16.00 - 16.30	332,23	338,245	9423,72	0,03201	76,56042	159	0,06648	0,0664785
16.30 – 17.00	330,24	334,88	9446,45	0,031988	75,81487	159	0,06709	0,0670866



Şekil 8.8. Kıvrımlı galvaniz oluk yüzeyli kolektörler için Reynolds sayısına karşılık gelen basınç düşümü değerleri



Şekil 8.9. Kıvrımlı galvaniz oluk yüzeyli kolektörler için Reynolds sayısına karşılık gelen sürtünme faktörü katsayısı değerleri

Çizelge 8.29-8.33’de düzlemsel yüzeyli kolektör için teorik ve deneysel olarak bulunan basınç düşümü ve sürtünme faktörü katsayısı değerleri verilmektedir. Düzlemsel yüzeyli tek hava kanallı kolektörler için Re sayısına karşılık gelen basınç düşümü ve sürtünme katsayısı değerleri sırasıyla Şekil 8.10 ve 8.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 8.29. Deney No:16 için teorik ve deneysel olarak bulunan basınç düşümü ve sürtünme faktörü katsayısı

Kolektör Alanı:2 m ²				Akışkan debisi: 0,025 kg/sm ²				
Yutucu Yüzey: Siyaha boyanmış yüzey				Üst örtü: Düşük demir oksitli cam				
Kolektör Tipi: Tek hava kanallı düzlemsel				Kolektör Eğimi: 40				
Deney No: 16								
Zaman	T _{f,i} (K)	T _{f,o} (K)	Re	f Teo.	ΔP [kPa] Teo.	ΔP [kPa] Den.	f Den.	Den. Hata ±
10.00 - 10.30	308,64	321,102	4782,9	0,039157	0,7076498	0,72	0,03984	0,03984
10.30 - 11.00	310,02	324,213	4773,1	0,039182	0,7131684	0,728	0,04	0,04
11.00 - 11.30	313,45	328,871	4755,53	0,039227	0,7233919	0,741	0,04018	0,04018
11.30 - 12.00	315,93	332,828	4741,64	0,039263	0,7316817	0,750	0,04025	0,04025
12.00 - 12.30	318,64	336,185	4728,63	0,039297	0,739773	0,761	0,04042	0,04042
12.30 - 13.00	321,87	339,859	4713,9	0,039336	0,7490942	0,773	0,04059	0,04059
13.00 - 13.30	324,41	342,561	4702,78	0,039365	0,7562763	0,782	0,0407	0,0407
13.30 - 14.00	327,78	344,93	4690,67	0,039397	0,7643651	0,791	0,04077	0,04077
14.00 - 14.30	330,24	346,614	4681,96	0,03942	0,7703066	0,799	0,04089	0,04089
14.30 - 15.00	331,33	346,258	4680,42	0,039424	0,7713292	0,8	0,04089	0,04089
15.00 - 15.30	331,89	345,514	4680,81	0,039423	0,7711273	0,8	0,0409	0,0409
15.30 - 16.00	330,26	341,971	4691,68	0,039394	0,76377	0,788	0,04064	0,04064
16.00 - 16.30	328,12	337,84	4704,92	0,03936	0,7551098	0,781	0,04071	0,04071
16.30 – 17.00	325,11	333,072	4721,45	0,039317	0,7444609	0,767	0,04051	0,04051

Çizelge 8.30. Deney No:17 için teorik ve deneysel olarak bulunan basınç düşümü ve sürtünme faktörü katsayısı

Kolektör Alanı:2 m²				Akışkan debisi: 0,033 kg/sm²				
Yutucu Yüzey: Siyaha boyanmış yüzey				Üst örtü: Düşük demir oksitli cam				
Kolektör Tipi: Tek hava kanallı düzlemsel				Kolektör Eğimi: 40				
Deney No: 17								
Zaman	T _{f,i} (K)	T _{f,o} (K)	Re	f Teo.	ΔP [kPa] Teo.	ΔP [kPa] Den.	f Den.	Den. Hata ±
10.00 - 10.30	308,26	318,02	6323,46	0,03595	1,125769	1,148	0,03666	0,03666
10.30 - 11.00	309,87	321,03	6310,09	0,035973	1,134809	1,163	0,03687	0,03687
11.00 - 11.30	311,02	323,75	6298,94	0,035992	1,142484	1,178	0,03711	0,03711
11.30 - 12.00	313,87	326,83	6281,94	0,036021	1,154432	1,195	0,03729	0,03729
12.00 - 12.30	316,12	329,65	6267,47	0,036046	1,16483	1,208	0,03738	0,03738
12.30 - 13.00	319,93	334,41	6243,16	0,036088	1,182802	1,13	0,03448	0,03448
13.00 - 13.30	324,06	337,78	6222,04	0,036125	1,198953	1,149	0,03462	0,03462
13.30 - 14.00	326,56	339,49	6210,25	0,036146	1,208198	1,161	0,03473	0,03473
14.00 - 14.30	328,21	339,69	6205,08	0,036155	1,212302	1,166	0,03477	0,03477
14.30 - 15.00	330,06	340,6	6197,39	0,036168	1,218473	1,175	0,03488	0,03488
15.00 - 15.30	330,79	339,76	6197,7	0,036168	1,218226	1,176	0,03491	0,03491
15.30 - 16.00	329,87	337,69	6206,03	0,036153	1,211546	1,163	0,0347	0,0347
16.00 - 16.30	327,46	334,24	6222,43	0,036124	1,198647	1,15	0,03466	0,03466
16.30 – 17.00	323,77	328,89	6247,91	0,03608	1,179238	1,128	0,03451	0,03451

Çizelge 8.31. Deney No:18 için teorik ve deneysel olarak bulunan basınç düşümü ve sürtünme faktörü katsayısı

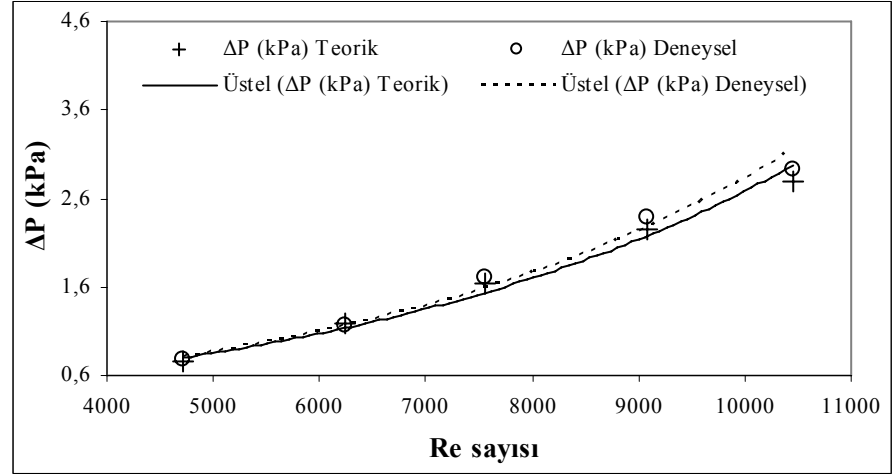
Kolektör Alanı:2 m ²				Akışkan debisi: 0,04 kg/sm ²				
Yutucu Yüzey: Siyaha boyanmış yüzey				Üst örtü: Düşük demir oksitli cam				
Kolektör Tipi: Tek hava kanallı düzlemsel				Kolektör Eğimi: 40				
Deney No: 18								
Zaman	T _{f,i} (K)	T _{f,o} (K)	Re	f Teo.	ΔP [kPa] Teo.	ΔP [kPa] Den.	f Den.	Den. Hata ±
10.00 - 10.30	309,41	317,1	7663,99	0,033966	1,563286	1,596	0,03468	0,03468
10.30 - 11.00	310,21	319,73	7651,96	0,033981	1,572571	1,608	0,03475	0,03475
11.00 - 11.30	313,45	324,21	7625,03	0,034016	1,593844	1,64	0,035	0,035
11.30 - 12.00	315,87	327,25	7606,09	0,034041	1,60921	1,662	0,03516	0,03516
12.00 - 12.30	318,83	331,03	7582,84	0,034071	1,628559	1,689	0,03534	0,03534
12.30 - 13.00	321,96	334,42	7560,49	0,034101	1,647687	1,715	0,03549	0,03549
13.00 - 13.30	324,53	337,16	7542,38	0,034125	1,663574	1,738	0,03565	0,03565
13.30 - 14.00	327,12	339,33	7526,23	0,034146	1,678058	1,757	0,03575	0,03575
14.00 - 14.30	329,54	340,89	7512,77	0,034164	1,690347	1,773	0,03583	0,03583
14.30 - 15.00	331,79	342,1	7501,11	0,034179	1,701167	1,787	0,0359	0,0359
15.00 - 15.30	331,31	340,73	7507,34	0,034171	1,695366	1,78	0,03588	0,03588
15.30 - 16.00	330,86	339,02	7514,63	0,034161	1,688639	1,769	0,03579	0,03579
16.00 - 16.30	329,75	336,72	7526,16	0,034146	1,678119	1,758	0,03577	0,03577
16.30 – 17.00	328,13	333,44	7542,79	0,034124	1,663212	1,737	0,03564	0,03564

Çizelge 8.32. Deney No:19 için teorik ve deneysel olarak bulunan basınç düşümü ve sürtünme faktörü katsayısı

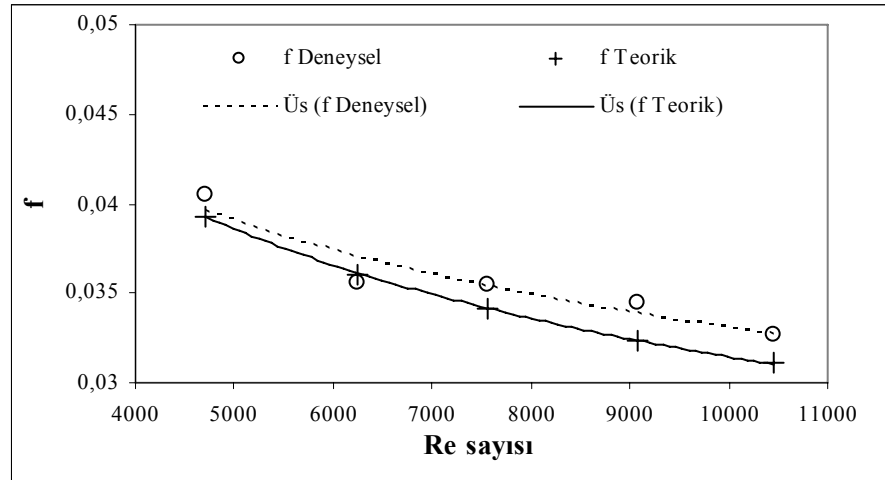
Kolektör Alanı:2 m ²				Akışkan debisi: 0,048 kg/sm ²				
Yutucu Yüzey: Siyaha boyanmış yüzey				Üst örtü: Düşük demir oksitli cam				
Kolektör Tipi: Tek hava kanallı düzlemsel				Kolektör Eğimi: 40				
Deney No: 19								
Zaman	T _{f,i} (K)	T _{f,o} (K)	Re	f Teo.	ΔP [kPa] Teo.	ΔP [kPa] Den.	f Den.	Den. Hata ±
10.00 - 10.30	310,21	317,12	9193,34	0,032235	2,139229	2,25	0,0339	0,0339
10.30 - 11.00	311,44	319,57	9177,86	0,032251	2,152855	2,269	0,03399	0,03399
11.00 - 11.30	312,06	320,94	9169,52	0,032259	2,16029	2,28	0,03405	0,03405
11.30 - 12.00	314,21	324,14	9147,16	0,032281	2,180515	2,311	0,03421	0,03421
12.00 - 12.30	317,41	327,51	9119,84	0,032309	2,205833	2,344	0,03433	0,03433
12.30 - 13.00	320,14	330,38	9096,69	0,032332	2,227845	2,371	0,03441	0,03441
13.00 - 13.30	323,21	333,64	9070,66	0,032359	2,253219	2,409	0,0346	0,0346
13.30 - 14.00	326,44	336,7	9044,95	0,032385	2,278966	2,443	0,03472	0,03472
14.00 - 14.30	329,21	338,57	9026,07	0,032404	2,29831	2,467	0,03478	0,03478
14.30 - 15.00	331,03	339,54	9014,76	0,032415	2,310088	2,483	0,03484	0,03484
15.00 - 15.30	330,42	338,46	9021,61	0,032408	2,30294	2,473	0,0348	0,0348
15.30 - 16.00	329,71	336,65	9031,84	0,032398	2,292358	2,459	0,03475	0,03475
16.00 - 16.30	329,11	334,68	9042,3	0,032387	2,281657	2,446	0,03472	0,03472
16.30 – 17.00	327,71	331,7	9060,18	0,032369	2,263632	2,428	0,03472	0,03472

Çizelge 8.33. Deney No:20 için teorik ve deneysel olarak bulunan basınç düşümü ve sürtünme faktörü katsayısı

Kolektör Alanı:2 m ²				Akışkan debisi: 0,055 kg/sm ²				
Yutucu Yüzey: Siyaha boyanmış yüzey				Üst örtü: Düşük demir oksitli cam				
Kolektör Tipi: Tek hava kanallı düzlemsel				Kolektör Eğimi: 40				
Deney No: 20								
Zaman	T _{f,i} (K)	T _{f,o} (K)	Re	f Teo.	ΔP [kPa] Teo.	ΔP [kPa] Den.	f Den.	Den. Hata ±
10.00 - 10.30	308,05	313,94	10559,9	0,031005	2,678668	2,85	0,03299	0,03299
10.30 - 11.00	309,11	316,1	10544,3	0,031017	2,693451	2,869	0,03304	0,03304
11.00 - 11.30	310	318,21	10529,8	0,031029	2,707359	2,888	0,0331	0,0331
11.30 - 12.00	312,26	321,58	10502,7	0,031051	2,73382	2,911	0,03306	0,03306
12.00 - 12.30	315,21	324,8	10473,2	0,031076	2,763371	2,949	0,03316	0,03316
12.30 - 13.00	317,87	327,55	10447,4	0,031097	2,78977	2,98	0,03322	0,03322
13.00 - 13.30	321,23	330,84	10416	0,031123	2,822865	2,926	0,03226	0,03226
13.30 - 14.00	323,64	333,02	10394,4	0,031141	2,846133	2,957	0,03235	0,03235
14.00 - 14.30	324,13	332,35	10395,2	0,031141	2,845214	2,955	0,03234	0,03234
14.30 - 15.00	325,26	332,82	10387,7	0,031147	2,853404	2,971	0,03243	0,03243
15.00 - 15.30	324,53	331,18	10398,8	0,031138	2,841288	2,957	0,03241	0,03241
15.30 - 16.00	323,13	328,72	10417	0,031122	2,821758	2,921	0,03222	0,03222
16.00 - 16.30	322,06	326,74	10431,4	0,03111	2,806501	2,909	0,03225	0,03225
16.30 – 17.00	321,21	324,71	10445,1	0,031099	2,792233	2,891	0,0322	0,0322



Şekil 8.10. Düzlemsel yüzeyli kolektörler için Reynolds sayısına karşılık gelen basınç düşümü değerleri



Şekil 8.11. Düzlemsel yüzeyli kolektörler için Reynolds sayısına karşılık gelen sürtünme faktörü katsayısı değerleri

Re sayısının fonksiyonu olarak her bir kolektör için elde edilen sürtünme faktörü katsayısı bağıntıları Çizelge 8.34’de verilmektedir.

Çizelge 8.34. Teorik ve deneylerden elde edilen sürtünme faktörü katsayısı ifadeleri

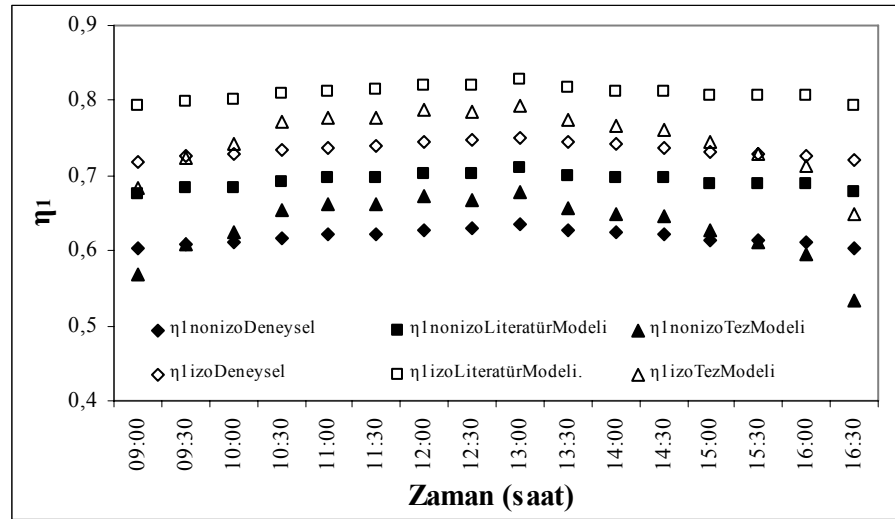
Tip	Sürtünme faktörü katsayısı f	
	Teorik	Deneyssel
Seçici yüzeyli	$f = (0,79 \ln Re - 1,64)^{-2}$	$1,56.Re^{-0,3785} \quad R^2 = 0,989$
Kıvrımlı	$f = (0,79 \ln Re - 1,64)^{-2}$	$0,69.Re^{-0,2542} \quad R^2 = 0,9642$
Düzlemsel	$f = (0,79 \ln Re - 1,64)^{-2}$	$0,302.Re^{-0,2405} \quad R^2 = 0,8983$

8.4. Hava Akışkanlı Güneş Kolektörlerin Model Sonuçları

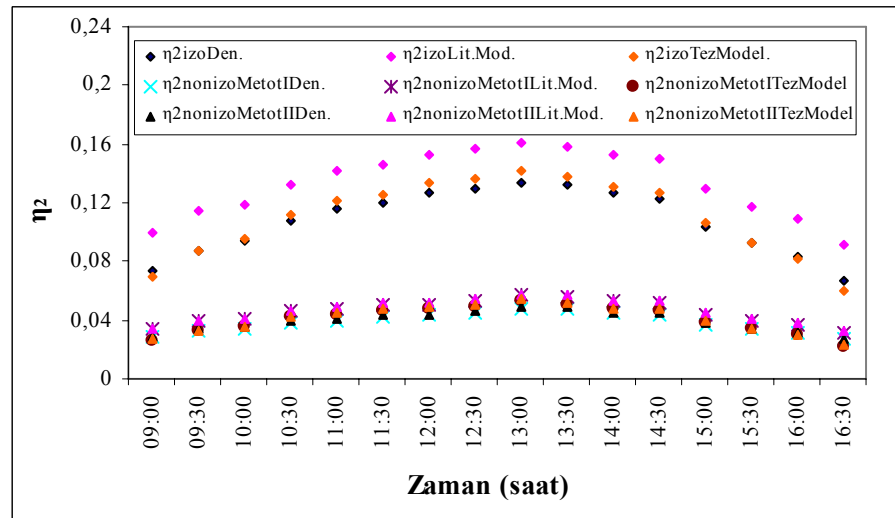
8.4.1 Seçici yüzeyli kolektörün model sonuçları

Seçici yüzeyli çift hava kanallı kolektörde dolaştırılan hava kütleles debisinin $0,025 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda deneysel, literatür ve tez modeli ile bulunan kolektörün gün içinde zamana bağlı izotermal ve nonizotermal birinci yasa ve ikinci yasa verimlerinin değişimi sırasıyla Şekil 8.12-8.15’de gösterilmektedir.

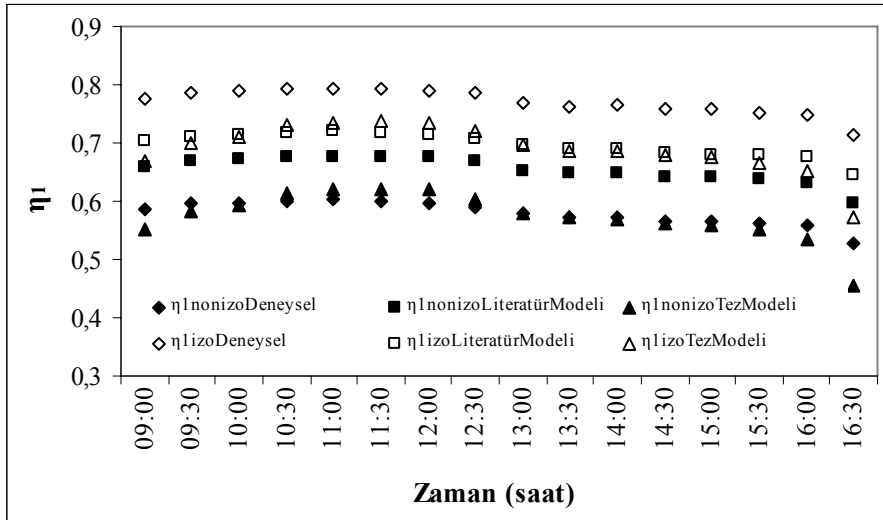
Akışkan giriş sıcaklığına göre deneysel olarak elde edilen doğrusal ve ikinci derece denklem takımı ile ifade edilen kolektör verim eğrisi üzerinde literatür ve tez kapsamında oluşturulan modeller kullanılarak elde edilen modellerin birinci yasa verim değişimi Şekil 8.16 ve 8.17’de verilmektedir.



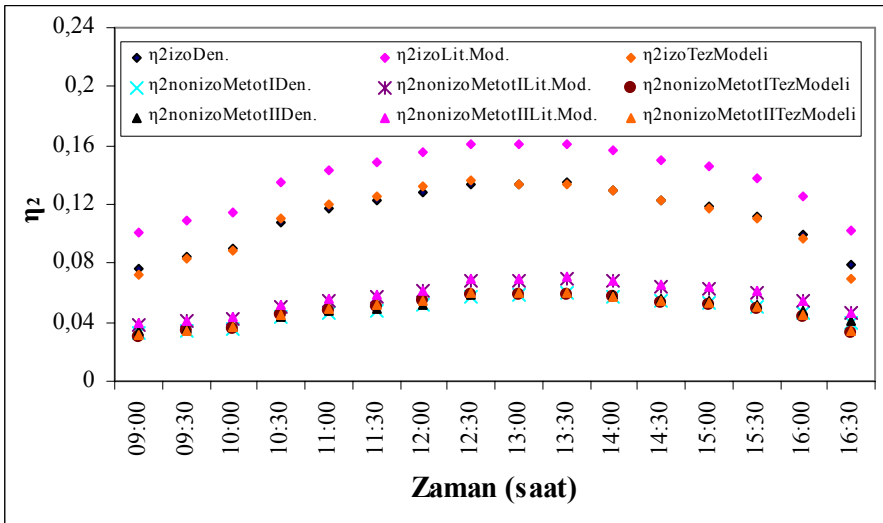
Şekil 8.12. DeneySEL, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:1)



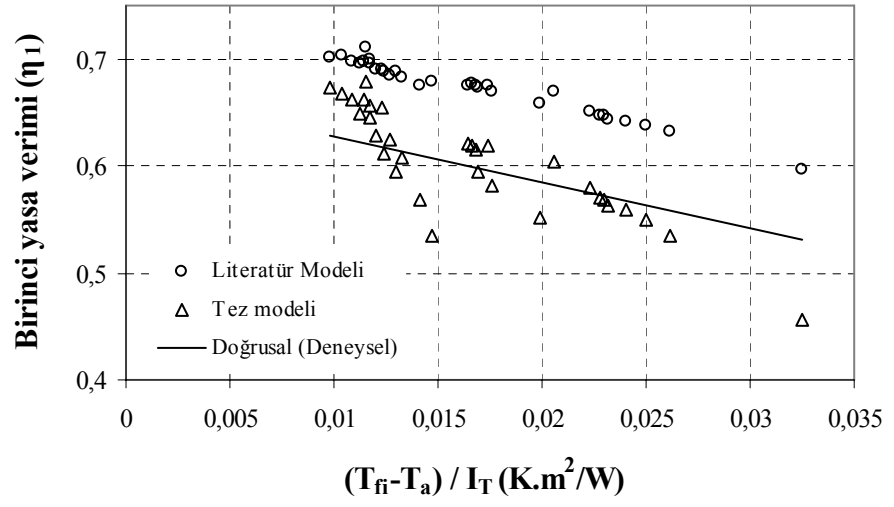
Şekil 8.13. DeneySEL, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal ikinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:1)



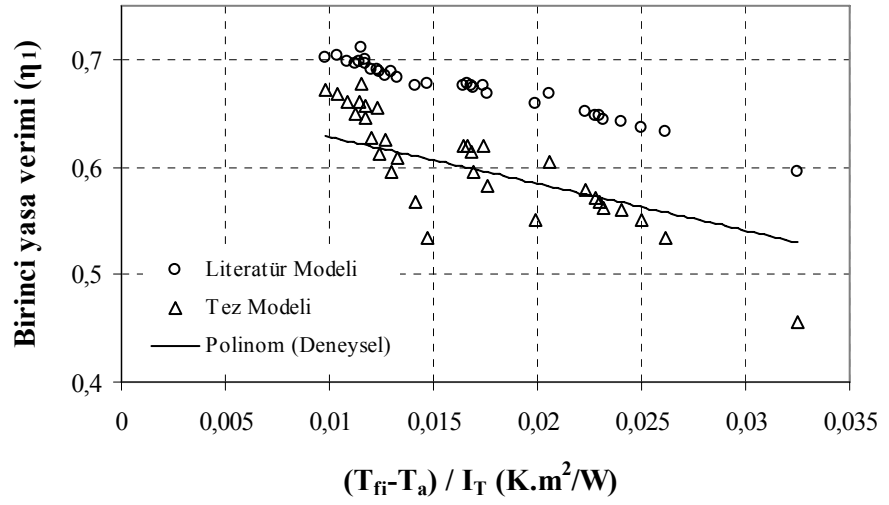
Şekil 8.14. DeneySEL, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:2)



Şekil 8.15 DeneySEL, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal ikinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:2)



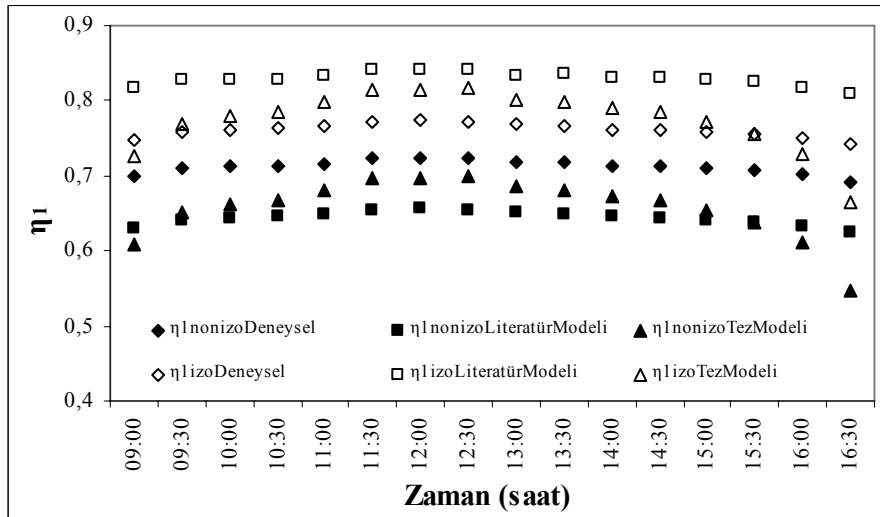
Şekil 8.16. Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel doğrusal çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$)



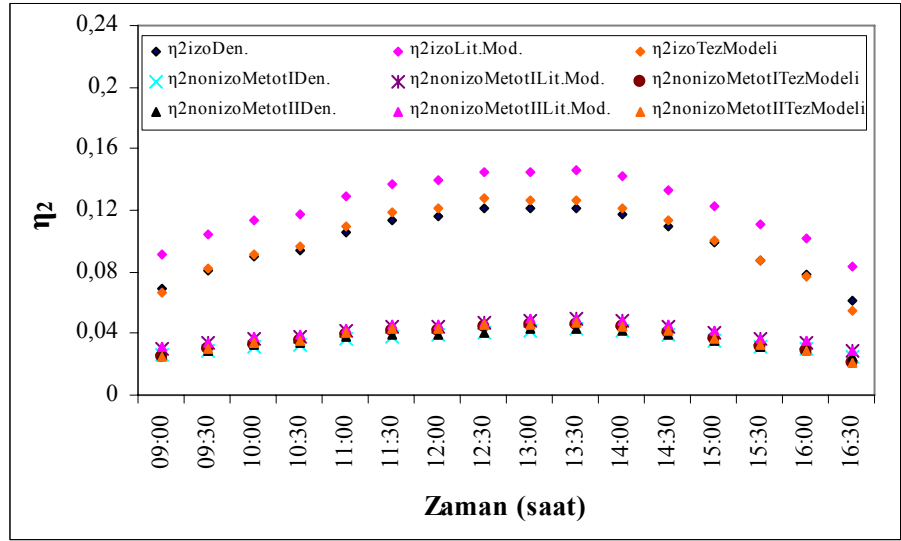
Şekil 8.17. Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel ikinci derece çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$)

Seçici yüzeyli çift hava kanallı kolektörde dolaştırılan hava kütleli debisinin $0,033 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda deneysel, literatür ve tez modeli ile bulunan kolektörün gün içinde zamana bağlı izotermal ve nonizotermal birinci yasa verimlerinin değişimi sırasıyla Şekil 8.18-8.21’de gösterilmektedir.

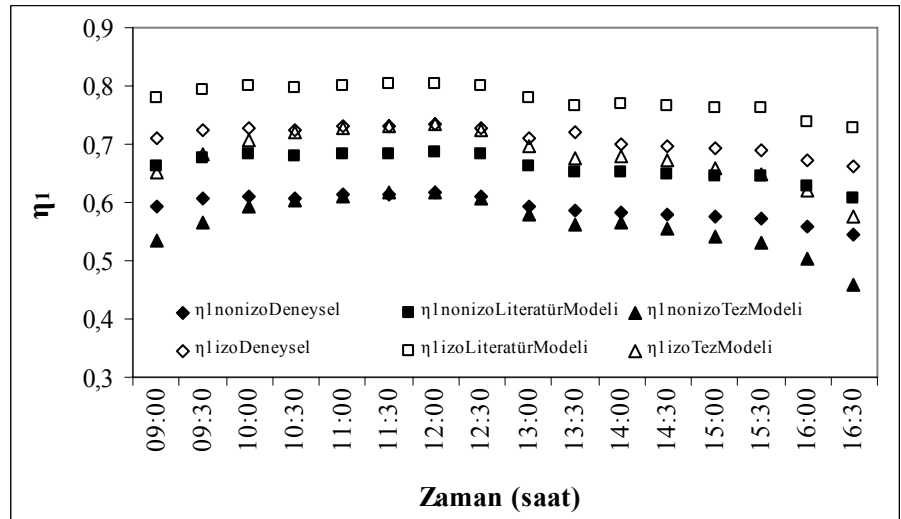
Akışkan giriş sıcaklığına göre deneysel olarak elde edilen doğrusal ve ikinci derece denklem takımı ile ifade edilen kolektör verim eğrisi üzerinde literatürden ve tez kapsamında oluşturulan ısı taşınım katsayıları kullanılarak elde edilen modellerin birinci yasa verim değişimi Şekil 8.22 ve 8.23’de verilmektedir.



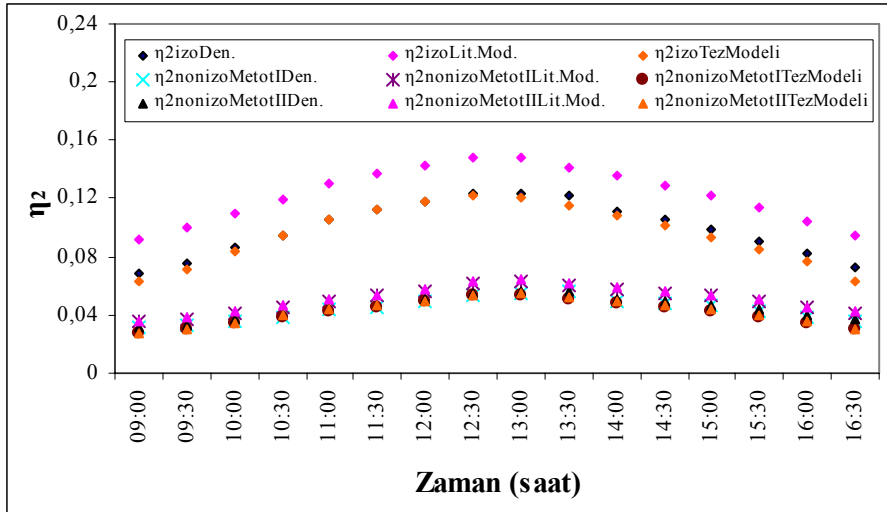
Şekil 8.18. Deneysel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:3)



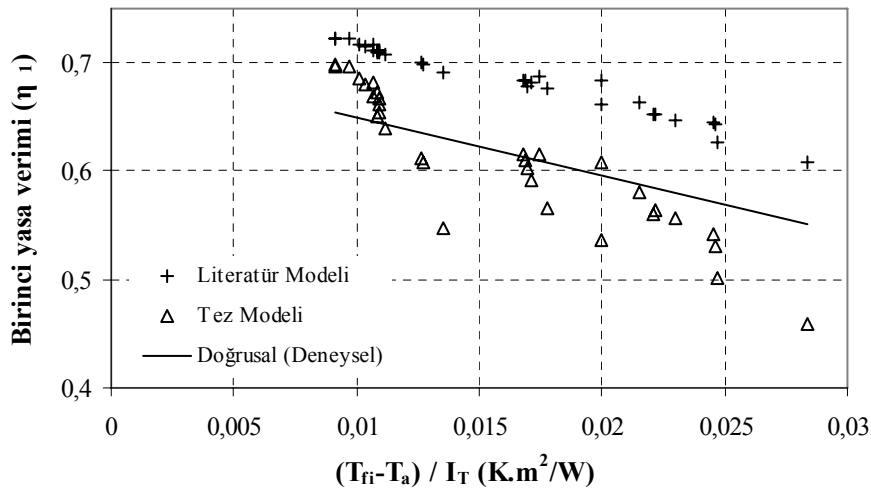
Şekil 8.19. DeneySEL, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal ikinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:3)



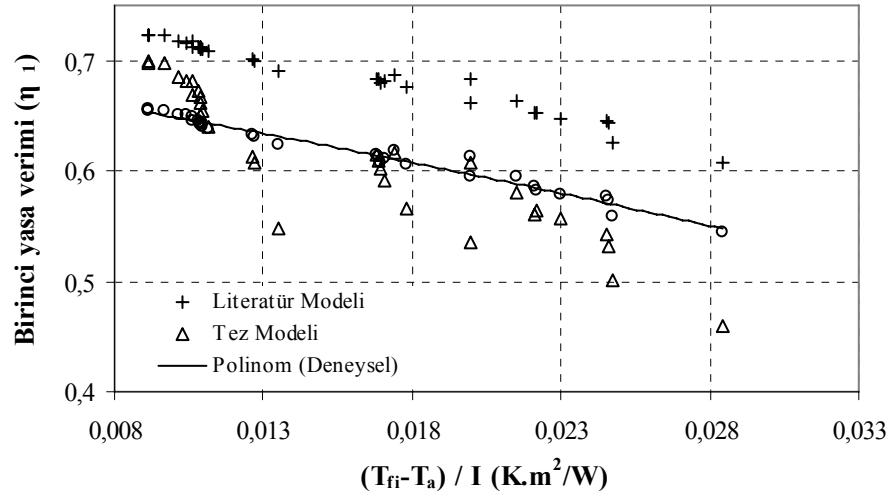
Şekil 8.20. DeneySEL, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:4)



Şekil 8.21. Deneysel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal ikinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:4)



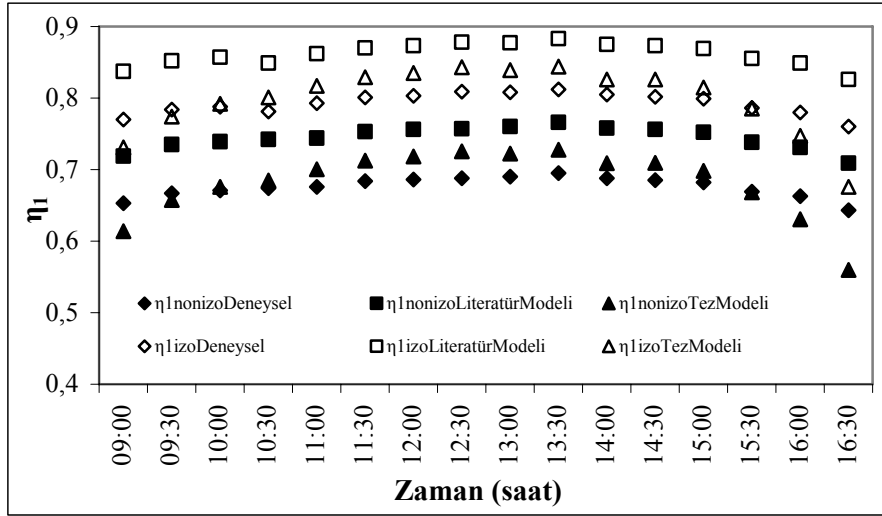
Şekil 8.22. Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel doğrusal çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$)



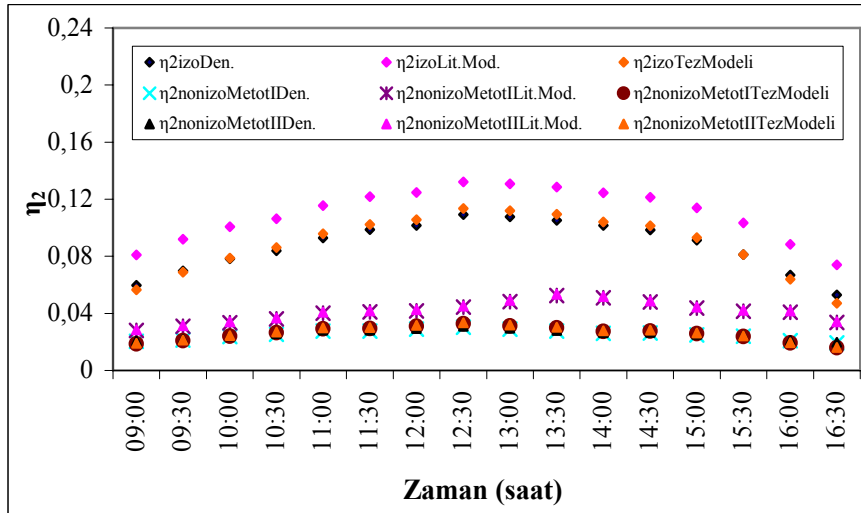
Şekil 8.23. Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel ikinci derece çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$)

Seçici yüzeyli çift hava kanallı kolektörde dolaştırılan hava kütleli debisinin $0,04 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda deneysel, literatür ve tez modeli ile bulunan kolektörün gün içinde zamana bağlı izotermal ve nonizotermal birinci yasa ve ikinci yasa verimlerinin değişimi sırasıyla Şekil 8.24-8.27’de gösterilmektedir.

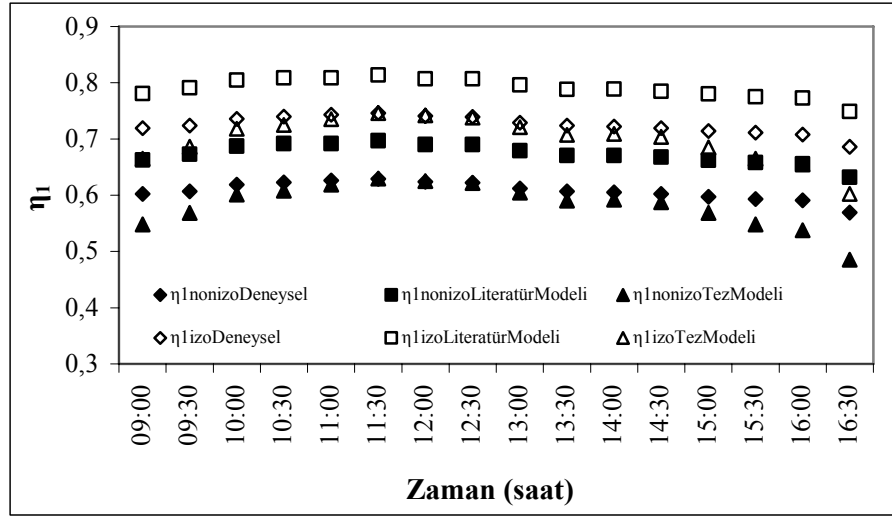
Akışkan giriş sıcaklığına göre deneysel olarak elde edilen doğrusal ve ikinci derece denklem takımı ile ifade edilen kolektör verim eğrisi üzerinde literatürden ve tez kapsamında oluşturulan ısı taşınım katsayıları kullanılarak elde edilen modellerin birinci yasa verim değişimi Şekil 8.28 ve 8.29’da verilmektedir.



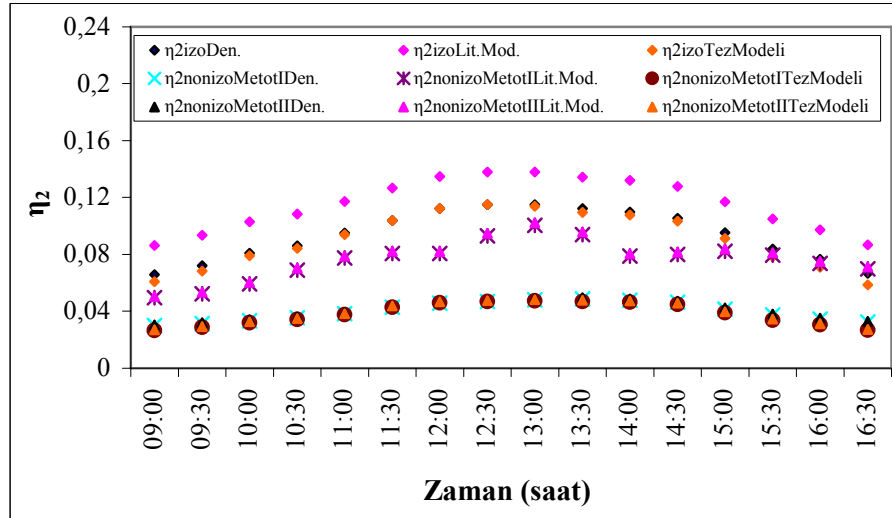
Şekil 8.24. DeneySEL, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:5)



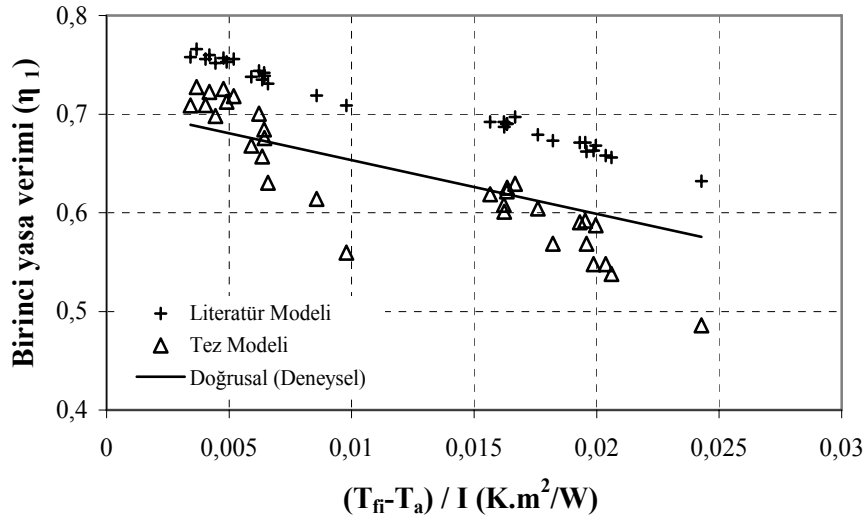
Şekil 8.25. DeneySEL, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:5)



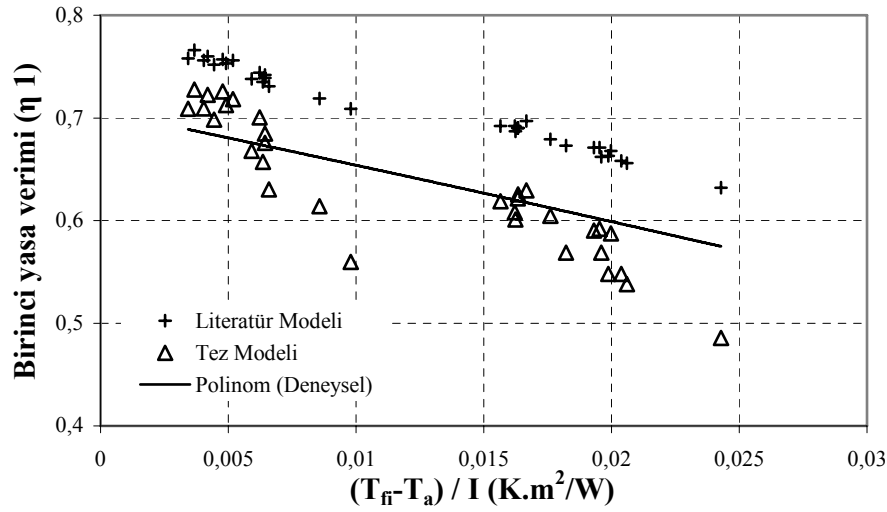
Şekil 8.26. Deneyel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:6)



Şekil 8.27. Deneyel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal ikinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:6)



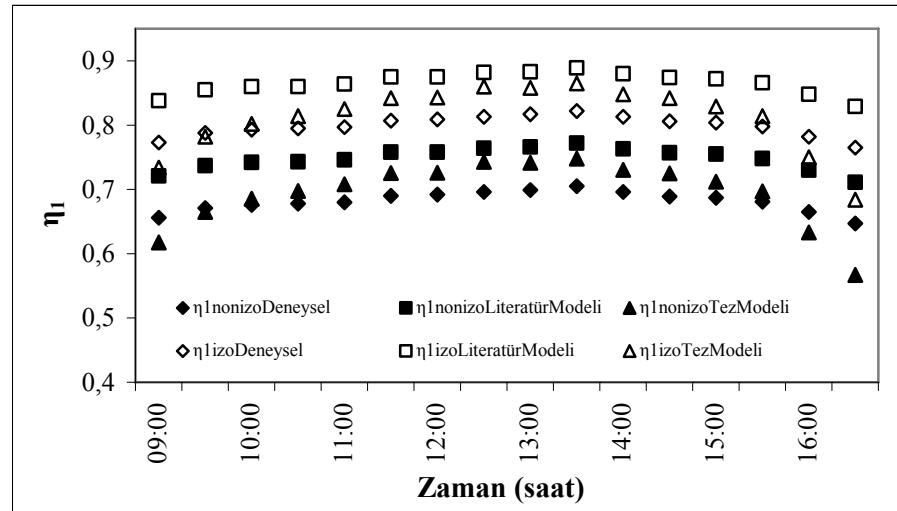
Şekil 8.28. Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel doğrusal çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$)



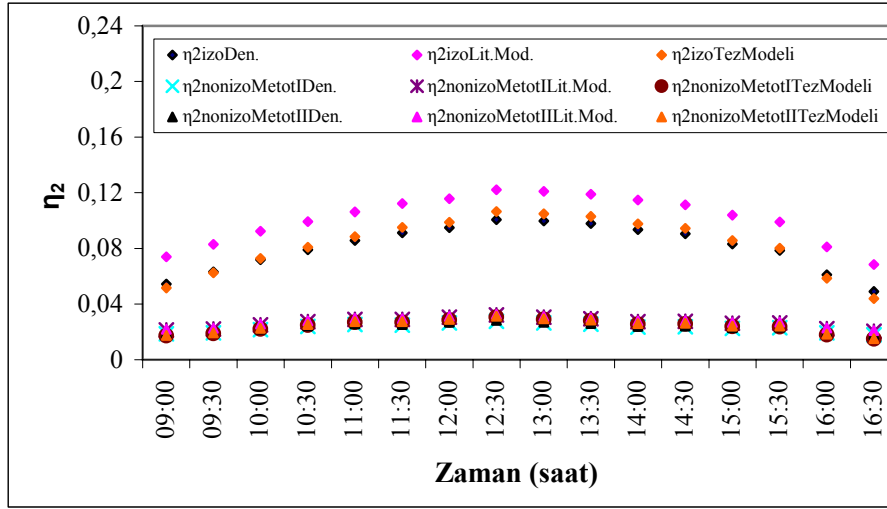
Şekil 8.29. Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel ikinci derece çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$)

Seçici yüzeyli çift hava kanallı kolektörde dolaştırılan hava kütleli debisinin $0,048 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda deneysel, literatür ve tez modeli ile bulunan kolektörün gün içinde zamana bağlı izotermal ve nonizotermal birinci yasa ve ikinci yasa verimlerinin değişimi sırasıyla Şekil 8.30-8.33’de gösterilmektedir.

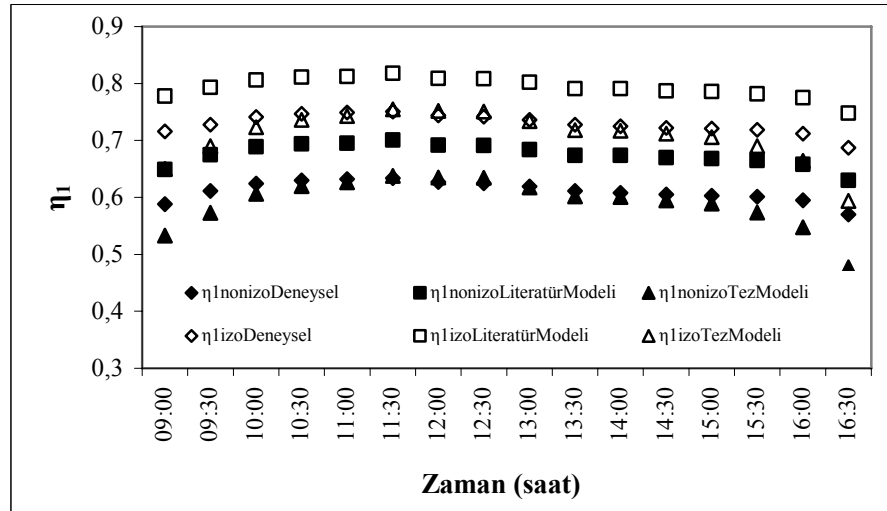
Akışkan giriş sıcaklığına göre deneysel olarak elde edilen doğrusal ve ikinci derece denklem takımı ile ifade edilen kolektör verim eğrisi üzerinde literatürden ve tez kapsamında oluşturulan ısı taşınım katsayıları kullanılarak elde edilen modellerin birinci yasa verim değişimi Şekil 8.34 ve 8.35’de verilmektedir.



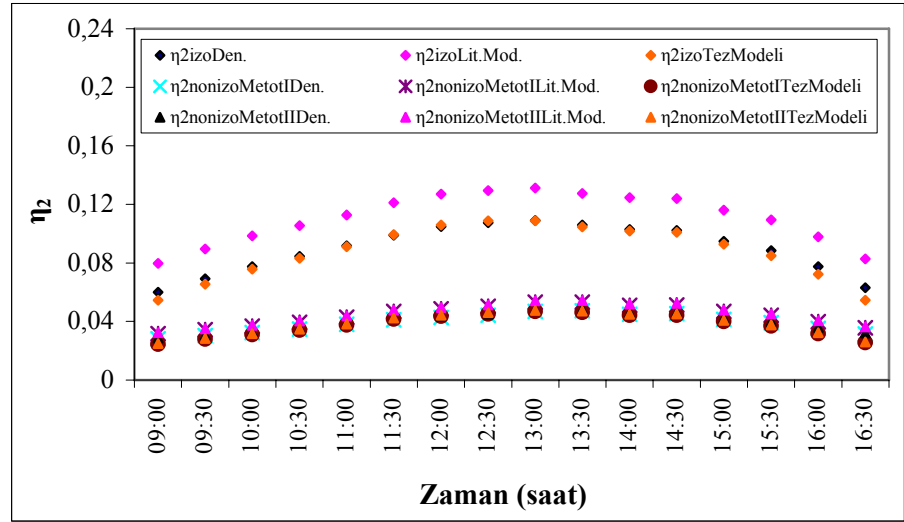
Şekil 8.30. Deneysel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:7)



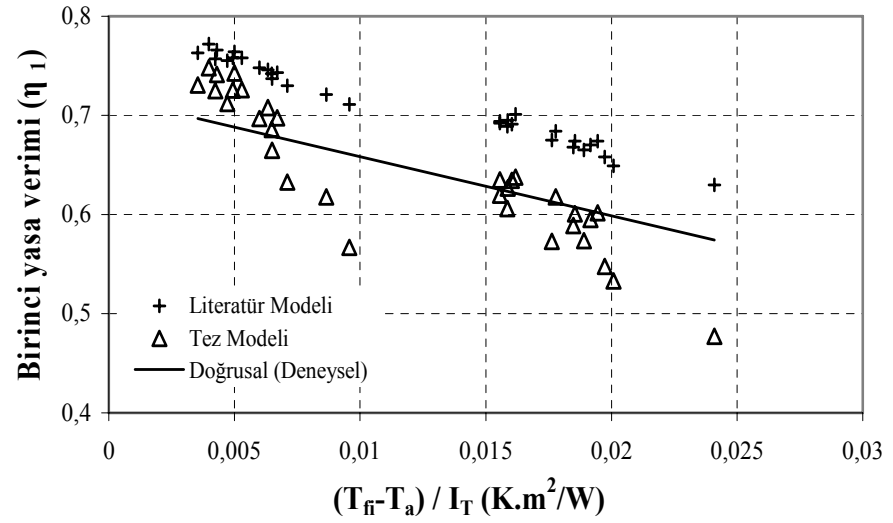
Şekil 8.31. Deneysel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal ikinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:7)



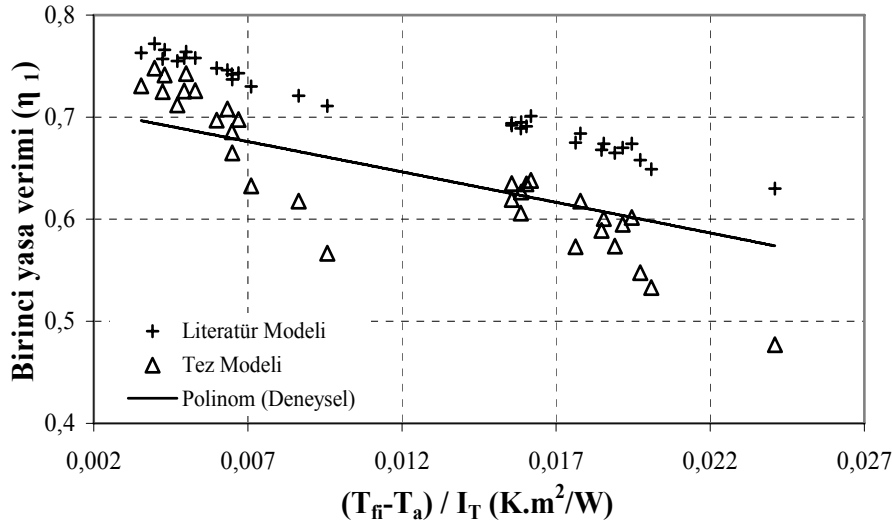
Şekil 8.32. Deneysel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:8)



Şekil 8.33. DeneySEL, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal ikinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:8)



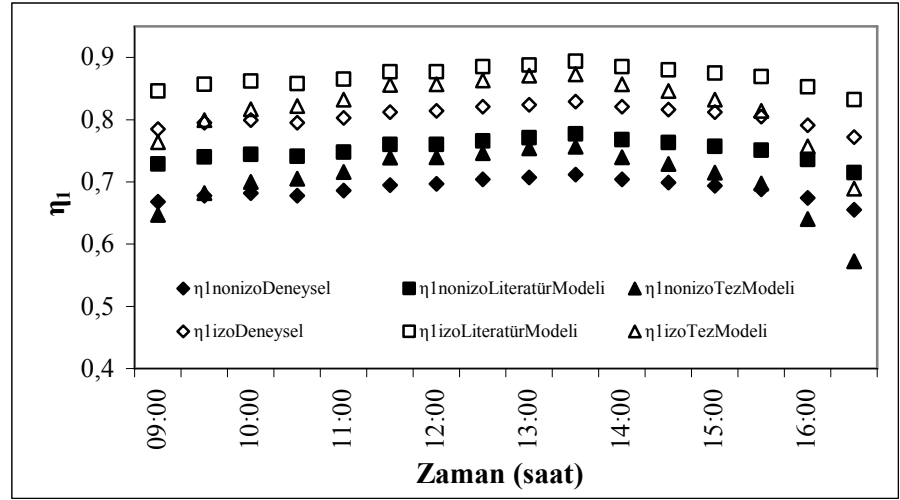
Şekil 8.34. Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneySEL doğrusal çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$)



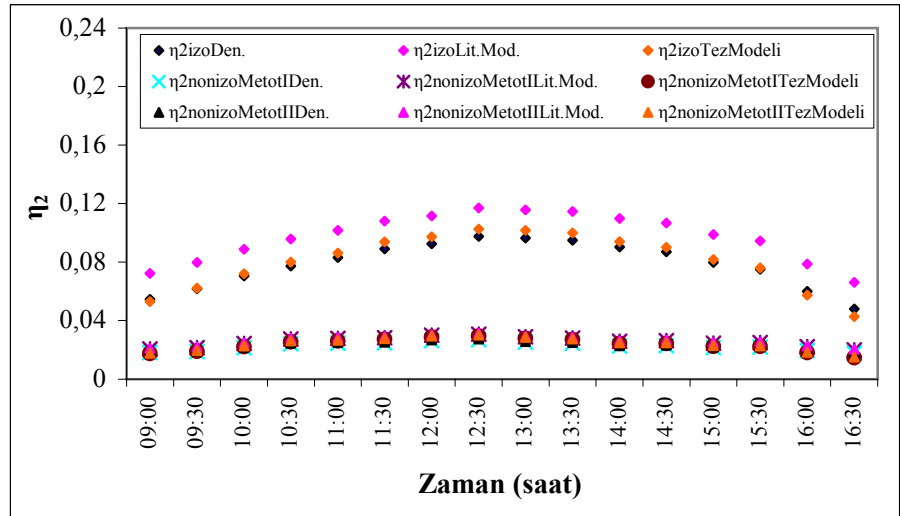
Şekil 8.35. Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel ikinci derece çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$)

Seçici yüzeyli çift hava kanallı kolektörde dolaştırılan hava kütleli debisinin $0,055 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda deneysel, literatür ve tez modeli ile bulunan kolektörün gün içinde zamana bağlı izotermal ve nonizotermal birinci yasa ve ikinci yasa verimlerinin değişimi sırasıyla Şekil 8.36-8.39’da gösterilmektedir.

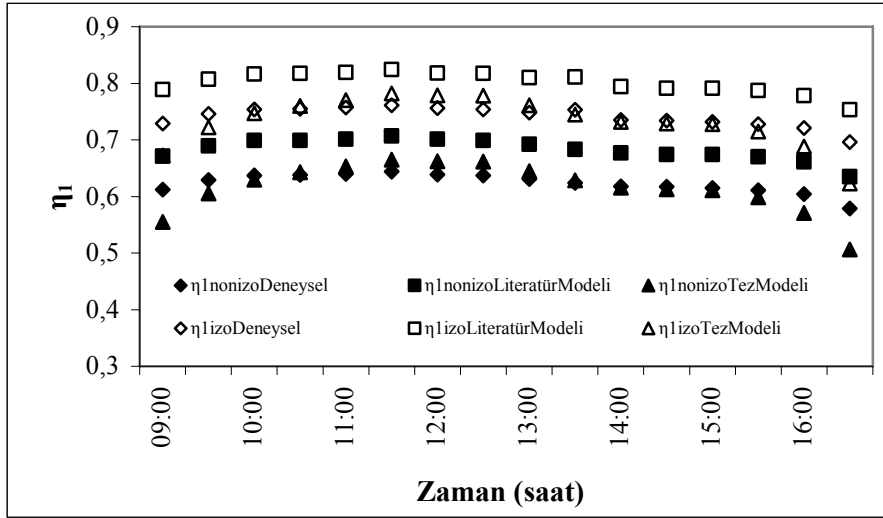
Akışkan giriş sıcaklığına göre deneysel olarak elde edilen doğrusal ve ikinci derece denklem takımı ile ifade edilen kolektör verim eğrisi üzerinde literatürden ve tez kapsamında oluşturulan ısı taşınım katsayıları kullanılarak elde edilen modellerin birinci yasa verim değişimi Şekil 8.40 ve 8.41’de verilmektedir.



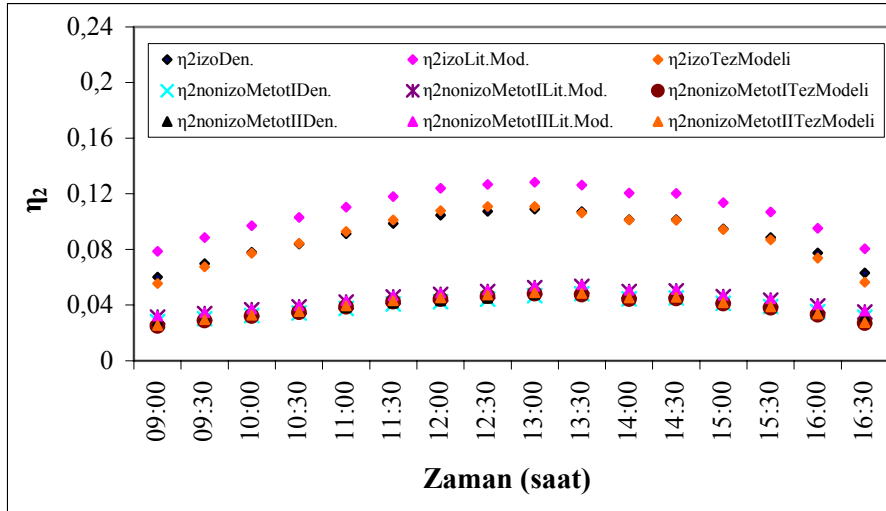
Şekil 8.36. DeneySEL, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:9)



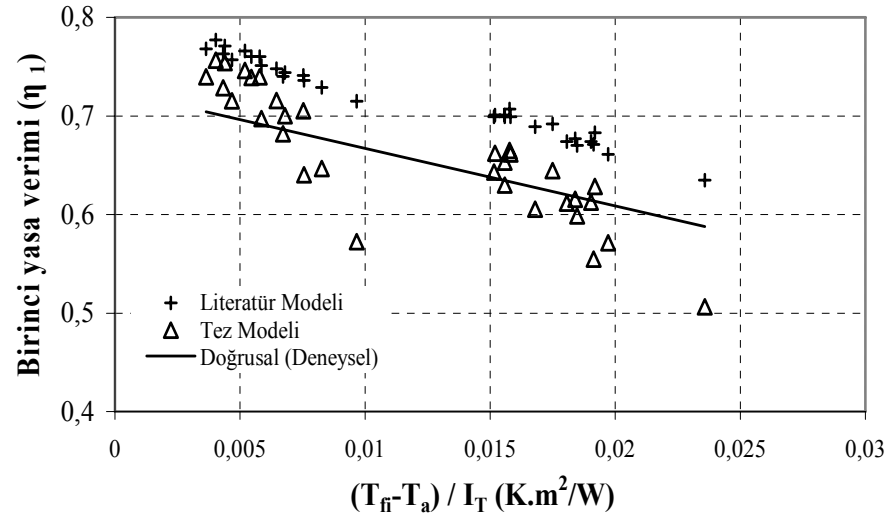
Şekil 8.37. DeneySEL, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal ikinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:9)



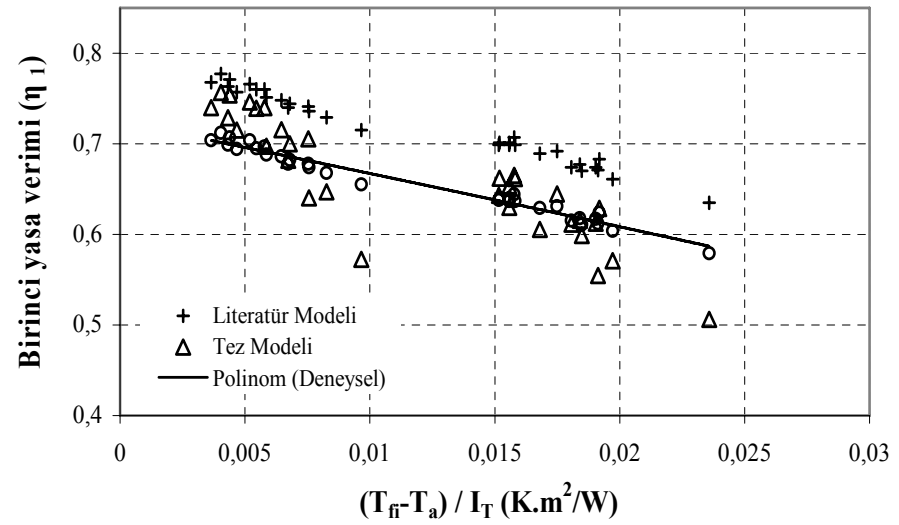
Şekil 8.38. Deneysel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:10)



Şekil 8.39. Deneysel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal ikinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:10)



Şekil 8.40. Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel doğrusal çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$)

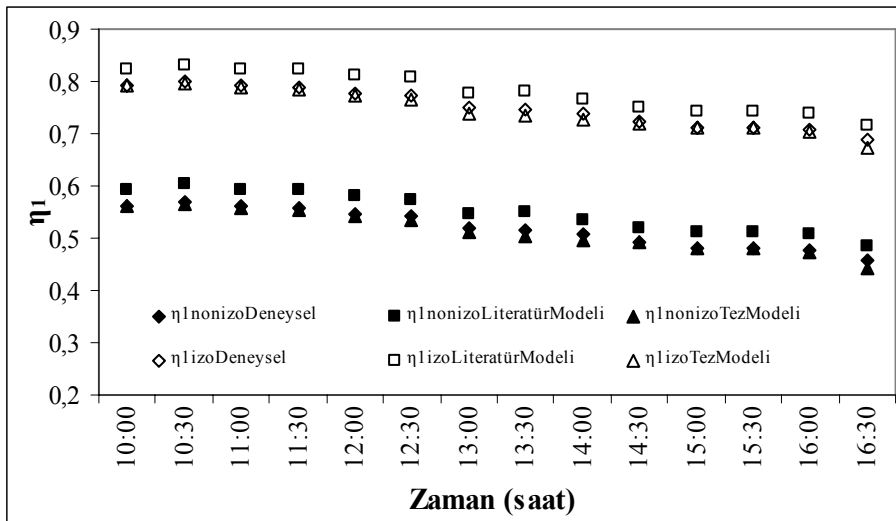


Şekil 8.41. Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel ikinci derece çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$)

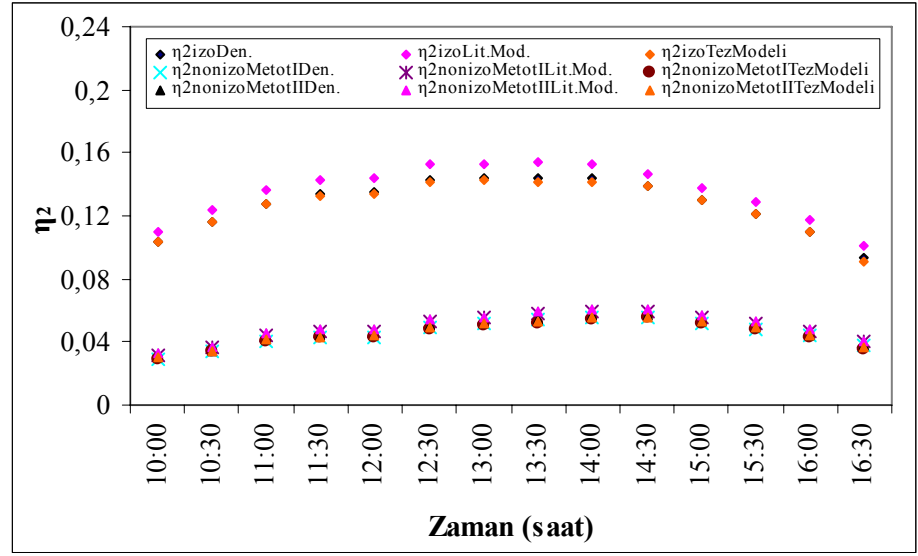
8.4.2 Kıvrımlı galvaniz oluk yüzeyli kolektörün model sonuçları

Kıvrımlı galvaniz oluk yüzeyli çift hava kanallı kolektörde dolaştırılan hava kütleli debisinin $0,025 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda deneysel, literatür ve tez modeli ile bulunan kolektörün gün içinde zamana bağlı izotermal ve nonizotermal birinci yasa ve ikinci yasa verimlerinin değişimi sırasıyla Şekil 8.42-8.43’de gösterilmektedir.

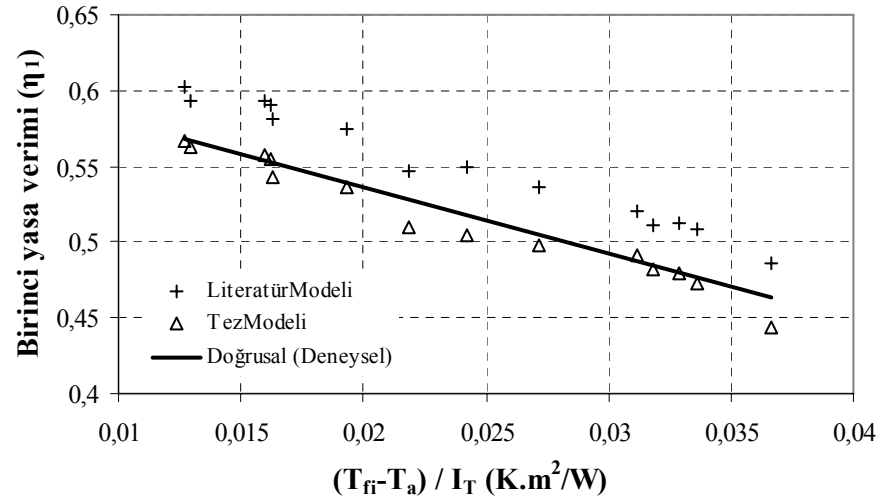
Akışkan giriş sıcaklığına göre deneysel olarak elde edilen doğrusal ve ikinci derece denklem takımı ile ifade edilen kolektör verim eğrisi üzerinde literatürden ve tez kapsamında oluşturulan ısı taşınım katsayıları kullanılarak elde edilen modellerin birinci yasa verim değişimi Şekil 8.44 ve 8.45’de verilmektedir.



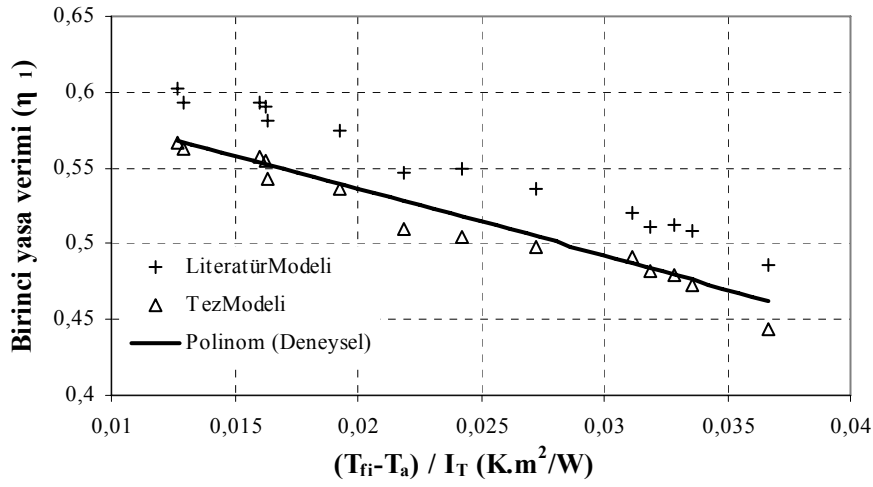
Şekil 8.42. Deneysel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:11)



Şekil 8.43. DeneySEL, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal ikinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:11)



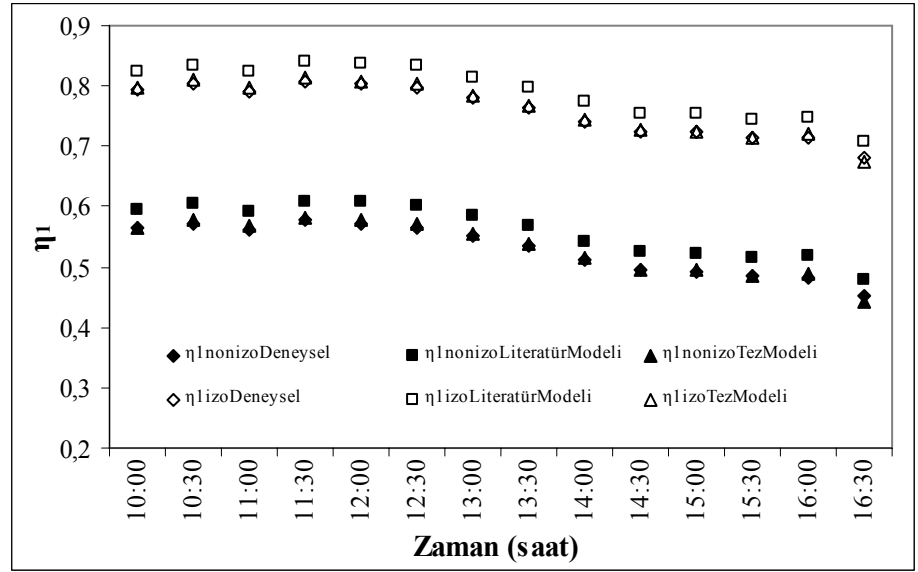
Şekil 8.44. Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneySEL doğrusal çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$)



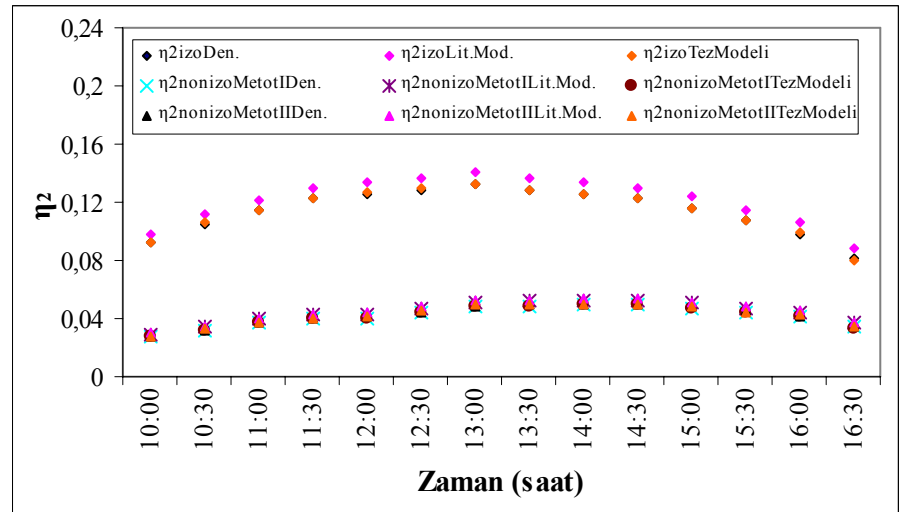
Şekil 8.45. Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel ikinci derece çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$)

Kıvrımlı galvaniz oluk yüzeyli çift hava kanallı kolektörde dolaştırılan hava kütleli debisinin $0,033 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda deneysel, literatür ve tez modeli ile bulunan kolektörün gün içinde zamana bağlı izotermal ve nonizotermal birinci yasa ve ikinci yasa verimlerinin değişimi sırasıyla Şekil 8.46-8.47’de gösterilmektedir.

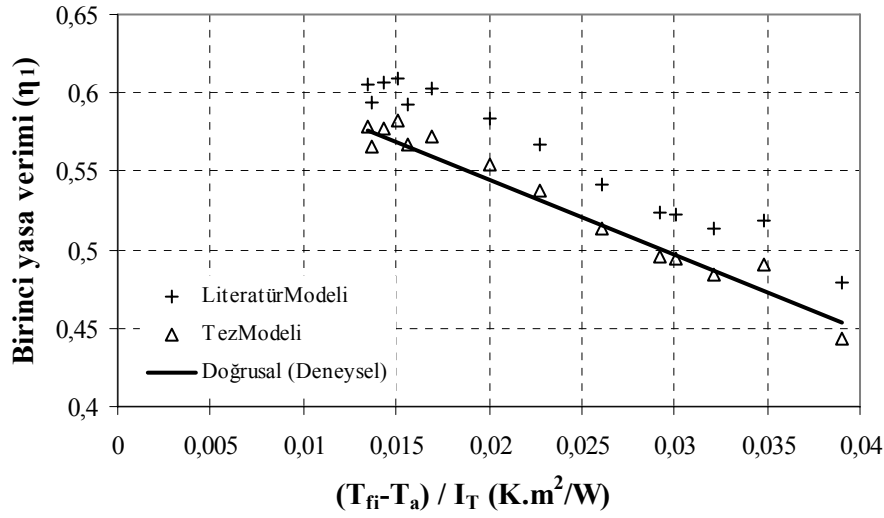
Akışkan giriş sıcaklığına göre deneysel olarak elde edilen doğrusal ve ikinci derece denklem takımı ile ifade edilen kolektör verim eğrisi üzerinde literatürden ve tez kapsamında oluşturulan ısı taşınım katsayıları kullanılarak elde edilen modellerin birinci yasa verim değişimi Şekil 8.48 ve 8.49’da verilmektedir.



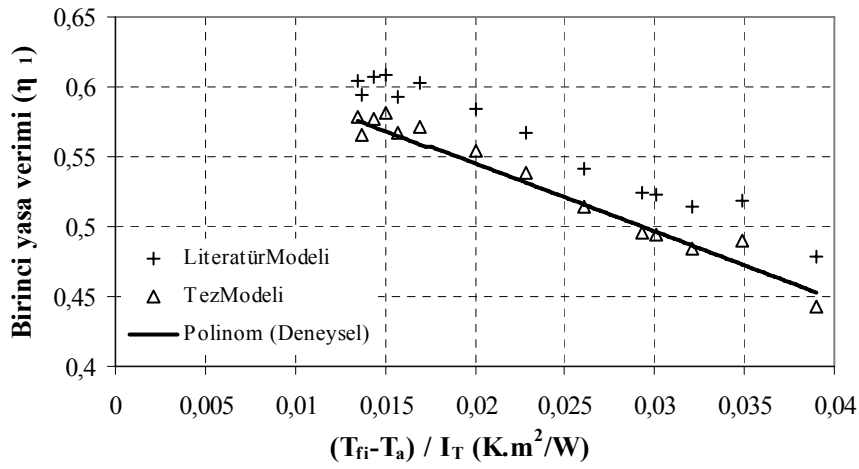
Şekil 8.46. DeneySEL, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:12)



Şekil 8.47. DeneySEL, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal ikinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:12)



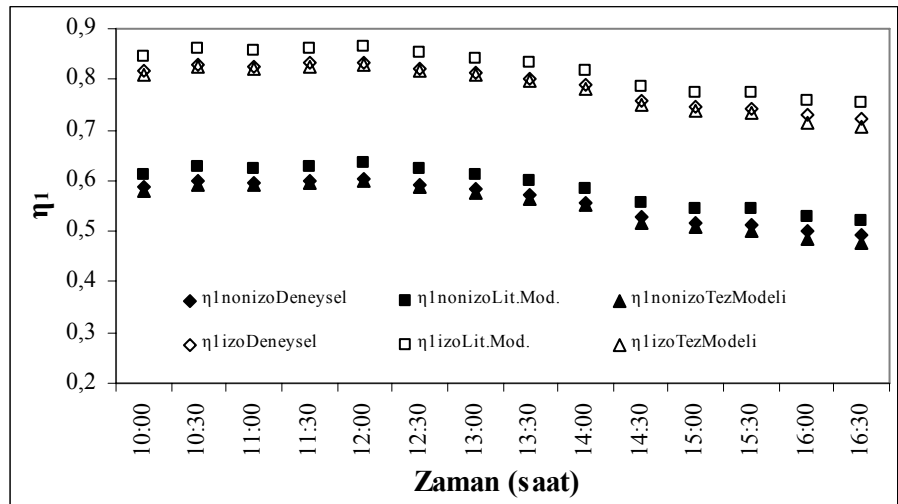
Şekil 8.48. Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel doğrusal çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$)



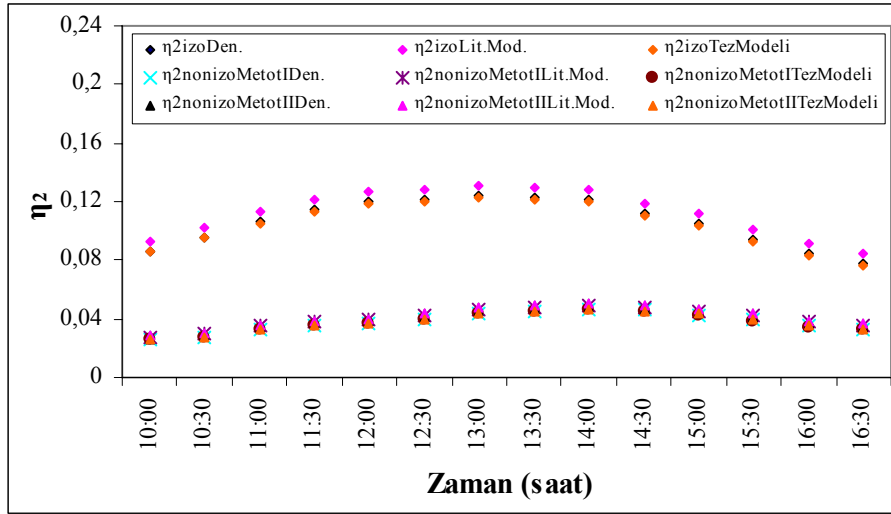
Şekil 8.49. Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel ikinci derece çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$)

Kıvrımlı galvaniz oluk yüzeyli çift hava kanallı kolektörde dolaştırılan hava kütleli debisinin $0,04 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda deneysel, literatür ve tez modeli ile bulunan kolektörün gün içinde zamana bağlı izotermal ve nonizotermal birinci yasa ve ikinci yasa verimlerinin değişimi sırasıyla Şekil 8.50-8.51’de gösterilmektedir.

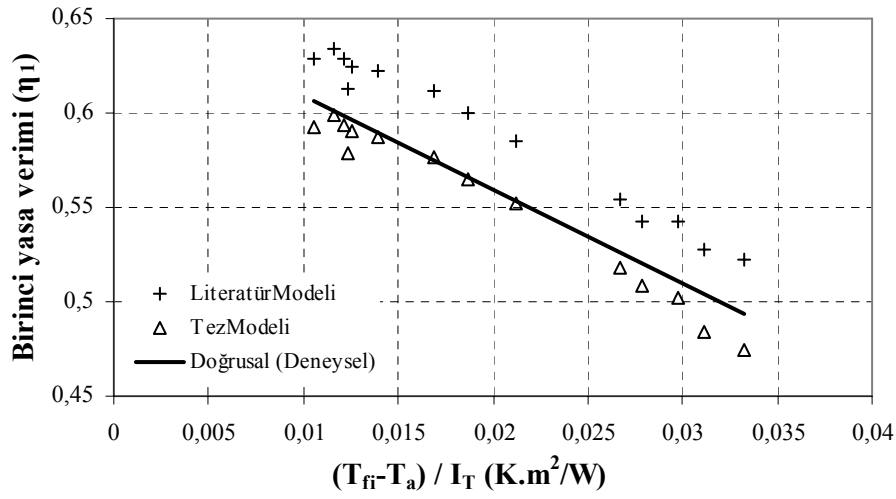
Akışkan giriş sıcaklığına göre deneysel olarak elde edilen doğrusal ve ikinci derece denklem takımı ile ifade edilen kolektör verim eğrisi üzerinde literatürden ve tez kapsamında oluşturulan ısı taşınım katsayıları kullanılarak elde edilen modellerin birinci yasa verim değişimi Şekil 8.52 ve 8.53’de verilmektedir.



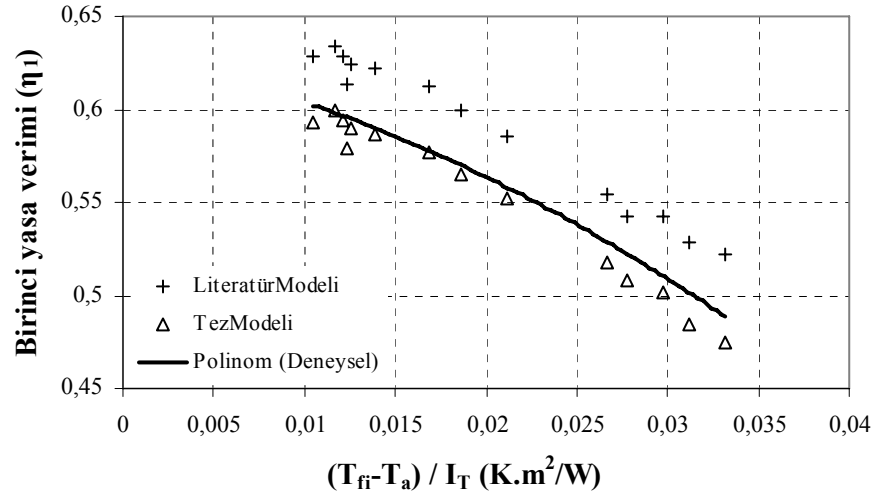
Şekil 8.50. Deneysel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:13)



Şekil 8.51. Deneysel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal ikinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:13)



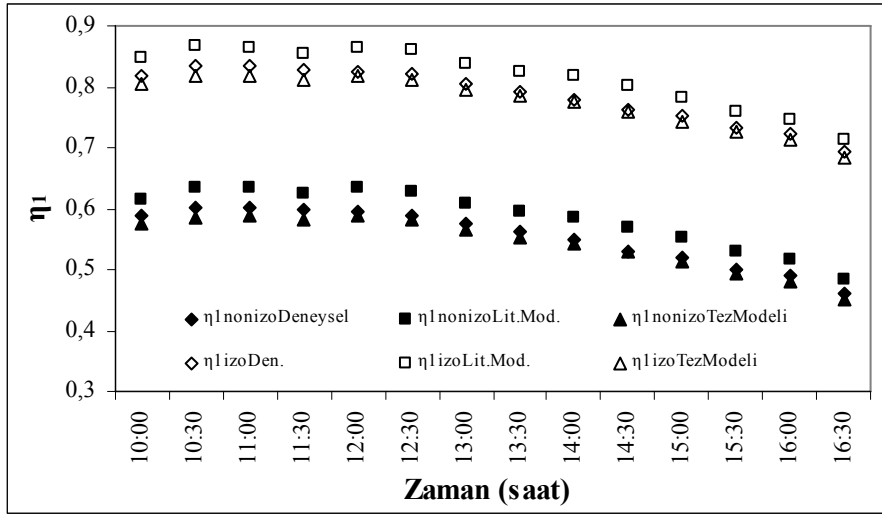
Şekil 8.52. Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel doğrusal çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$)



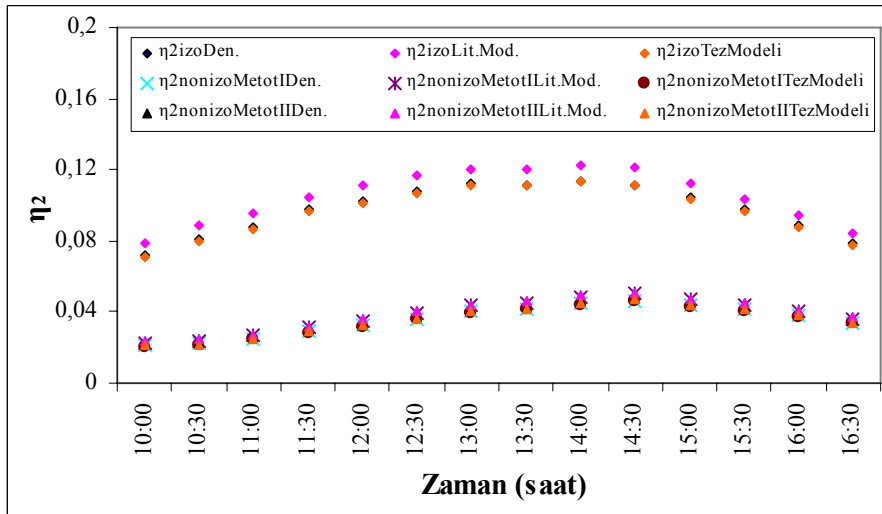
Şekil 8.53. Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel ikinci derece çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$)

Kıvrımlı galvaniz oluk yüzeyli çift hava kanallı kolektörde dolaştırılan hava kütleli debisinin $0,048 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda deneysel, literatür ve tez modeli ile bulunan kolektörün gün içinde zamana bağlı izotermal ve nonizotermal birinci yasa ve ikinci yasa verimlerinin değişimi sırasıyla Şekil 8.54-8.55’de gösterilmektedir.

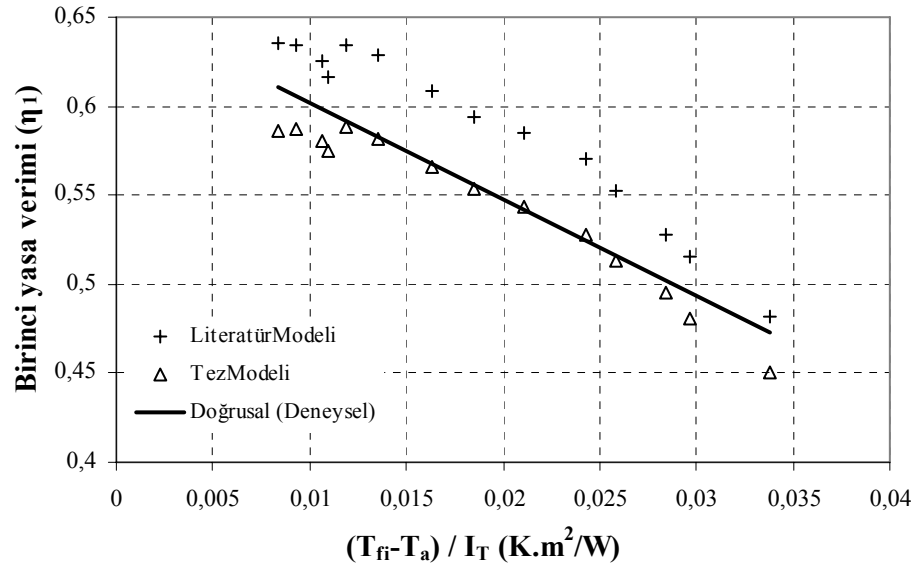
Akışkan giriş sıcaklığına göre deneysel olarak elde edilen doğrusal ve ikinci derece denklem takımı ile ifade edilen kolektör verim eğrisi üzerinde literatürden ve tez kapsamında oluşturulan ısı taşınım katsayıları kullanılarak elde edilen modellerin birinci yasa verim değişimi Şekil 8.56 ve 8.57’de verilmektedir.



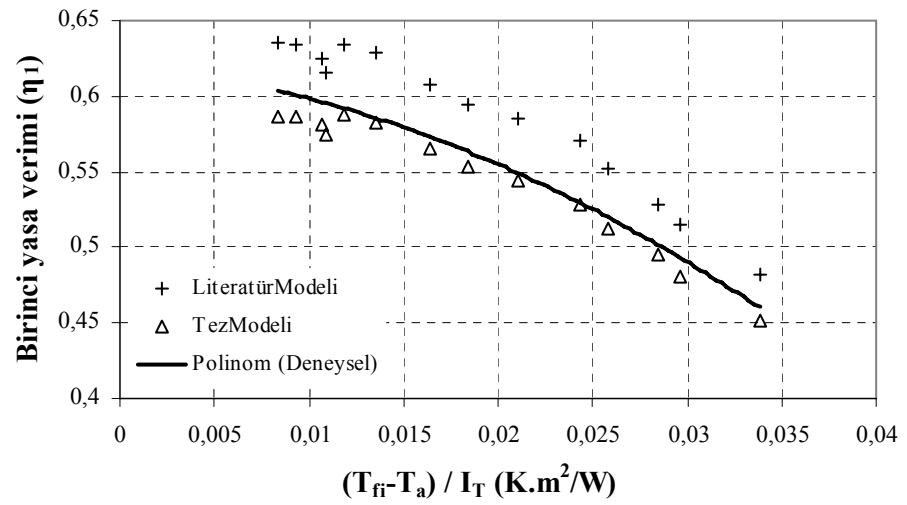
Şekil 8.54. DeneySEL, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:14)



Şekil 8.55. DeneySEL, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal ikinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:14)



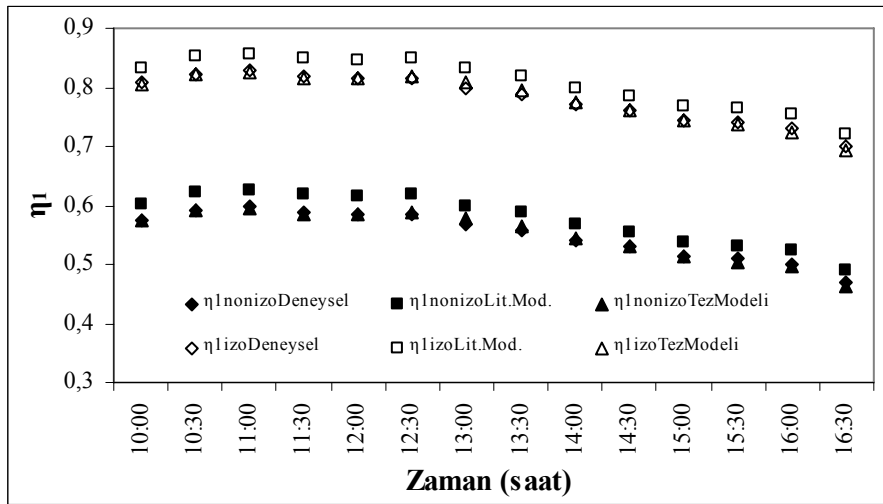
Şekil 8.56. Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel doğrusal çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$)



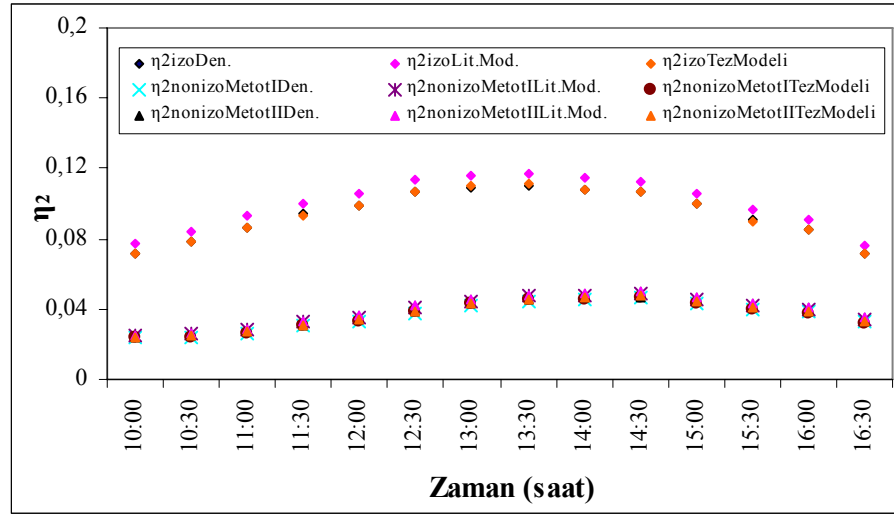
Şekil 8.57. Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel ikinci derece çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$)

Kıvrımlı galvaniz oluk yüzeyli çift hava kanallı kolektörde dolaştırılan hava kütleli debisinin $0,055 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda deneysel, literatür ve tez modeli ile bulunan kolektörün gün içinde zamana bağlı izotermal ve nonizotermal birinci yasa ve ikinci yasa verimlerinin değişimi sırasıyla Şekil 8.58-8.59’da gösterilmektedir.

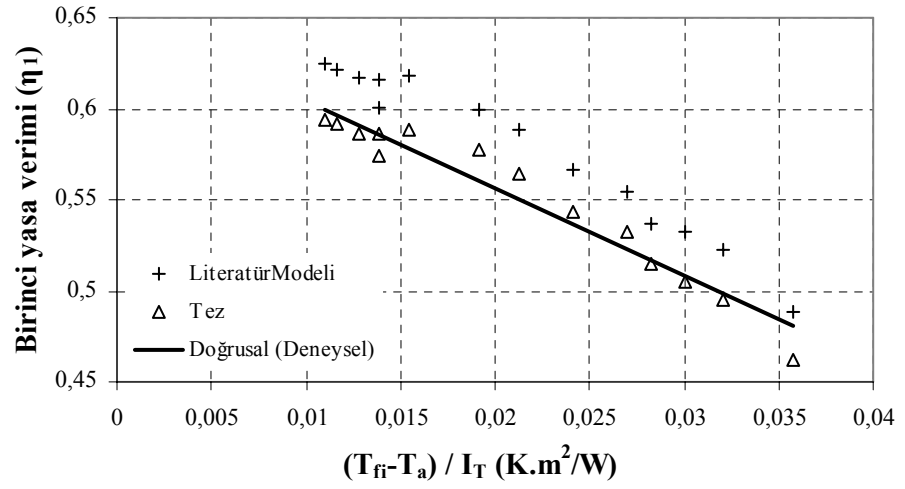
Akışkan giriş sıcaklığına göre deneysel olarak elde edilen doğrusal ve ikinci derece denklem takımı ile ifade edilen kolektör verim eğrisi üzerinde literatürden ve tez kapsamında oluşturulan ısı taşınım katsayıları kullanılarak elde edilen modellerin birinci yasa verim değişimi Şekil 8.60 ve 8.61’de verilmektedir.



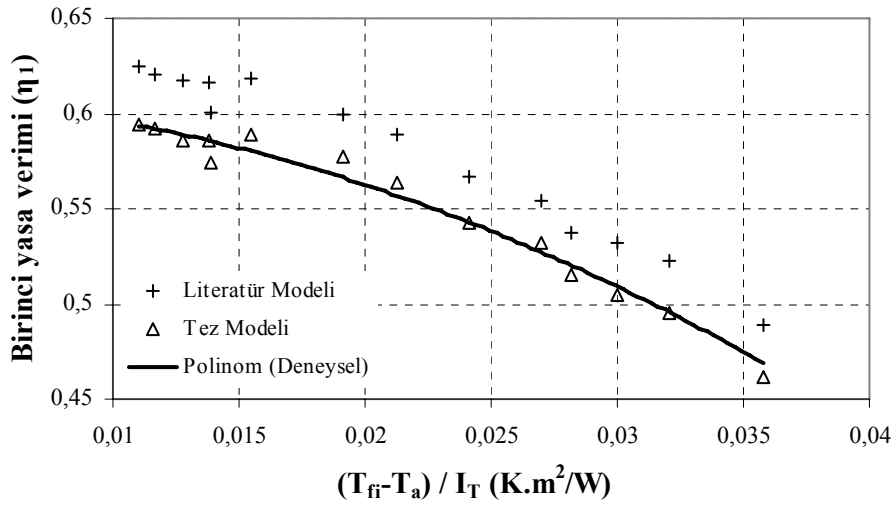
Şekil 8.58. Deneysel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal birinci yasa verimleri ($m = 0,055 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:15)



Şekil 8.59. Deneysel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal ikinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:15)



Şekil 8.60. Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel doğrusal çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$)

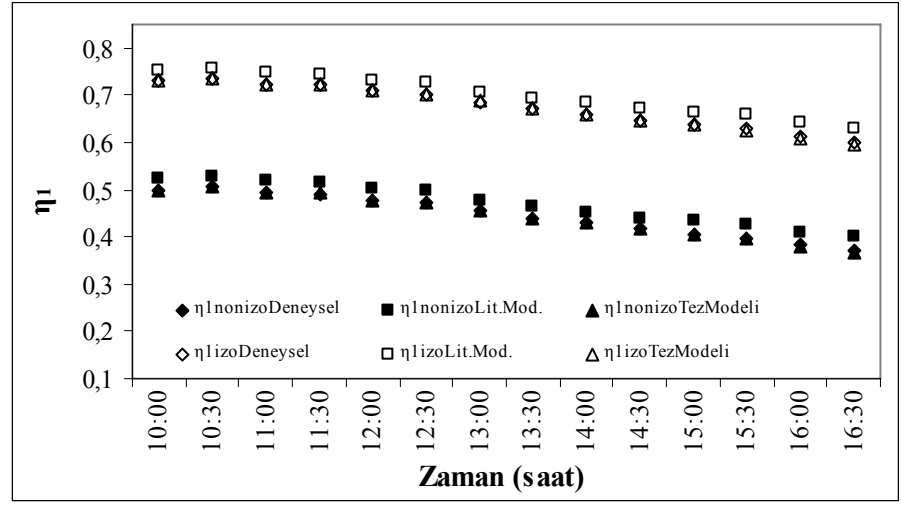


Şekil 8.61. Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel ikinci derece çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$)

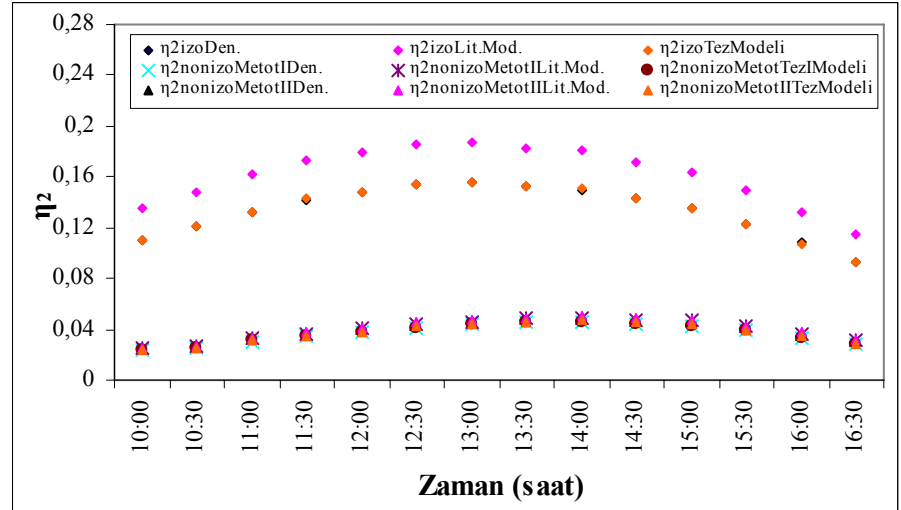
8.4.3 Düzlemsel kolektörün model sonuçları

Tek hava kanallı düzlemsel kolektörde dolaştırılan hava kütledebisinin $0,025 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda deneysel, literatür ve tez modeli ile bulunan kolektörün gün içinde zamana bağlı izotermal ve nonizotermal birinci yasa ve ikinci yasa verimlerinin değişimi sırasıyla Şekil 8.62-8.63’de gösterilmektedir.

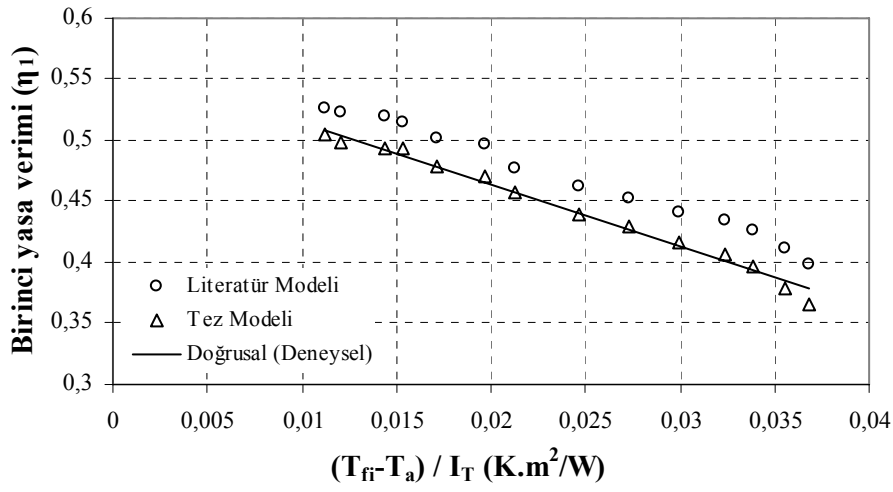
Akışkan giriş sıcaklığına göre deneysel olarak elde edilen doğrusal ve ikinci derece denklem takımı ile ifade edilen kolektör verim eğrisi üzerinde literatürden ve tez kapsamında oluşturulan ısı taşınım katsayıları kullanılarak elde edilen modellerin birinci yasa verim değişimi Şekil 8.64 ve 8.65’de verilmektedir.



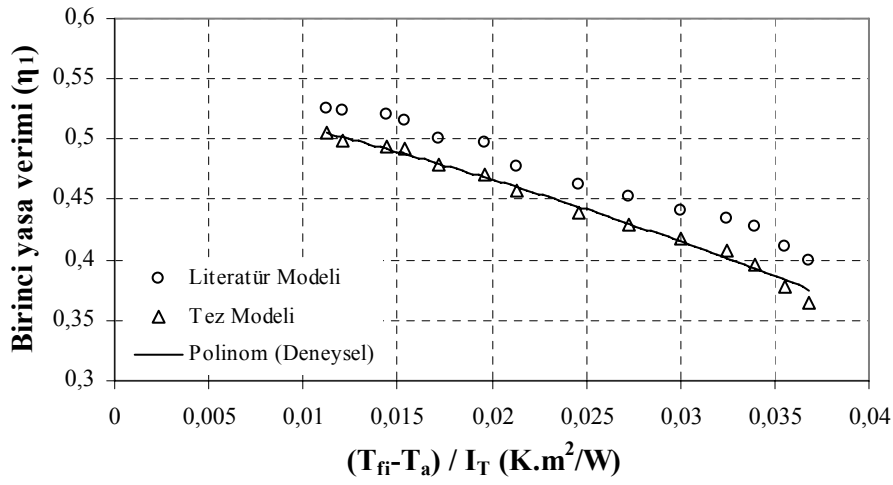
Şekil 8.62. DeneySEL, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:16)



Şekil 8.63. DeneySEL, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal ikinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:16)



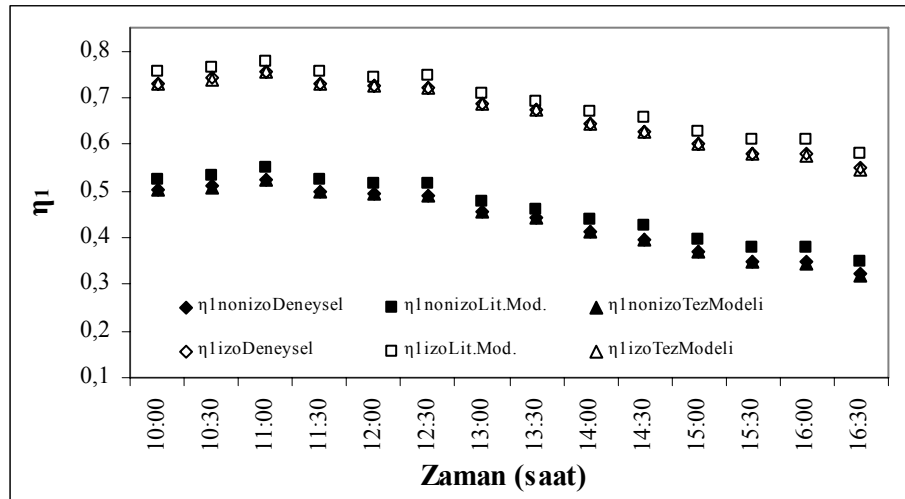
Şekil 8.64. Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel doğrusal çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$)



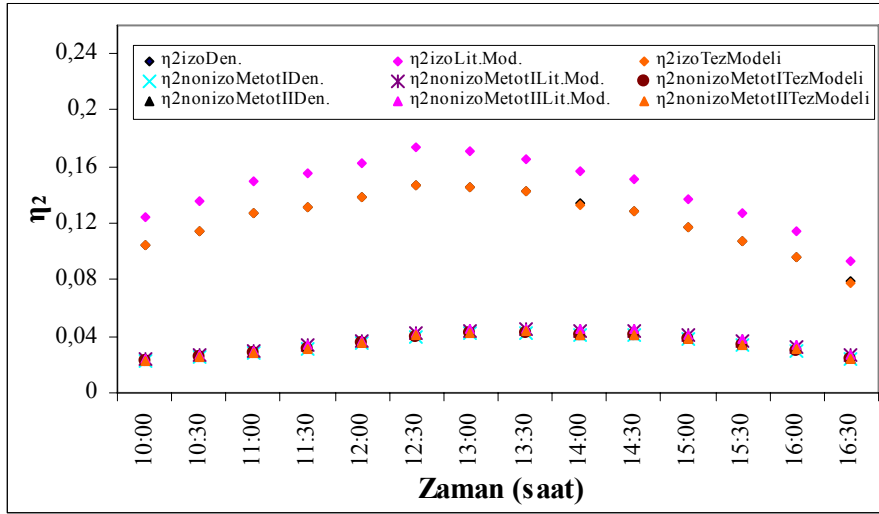
Şekil 8.65. Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel ikinci derece çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$)

Tek hava kanallı düzlemsel kolektörde dolaştırılan hava kütleli debisinin $0,033 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda deneysel, literatür ve tez modeli ile bulunan kolektörün gün içinde zamana bağlı izotermal ve nonizotermal birinci yasa ve ikinci yasa verimlerinin değişimi sırasıyla Şekil 8.66-8.67’de gösterilmektedir.

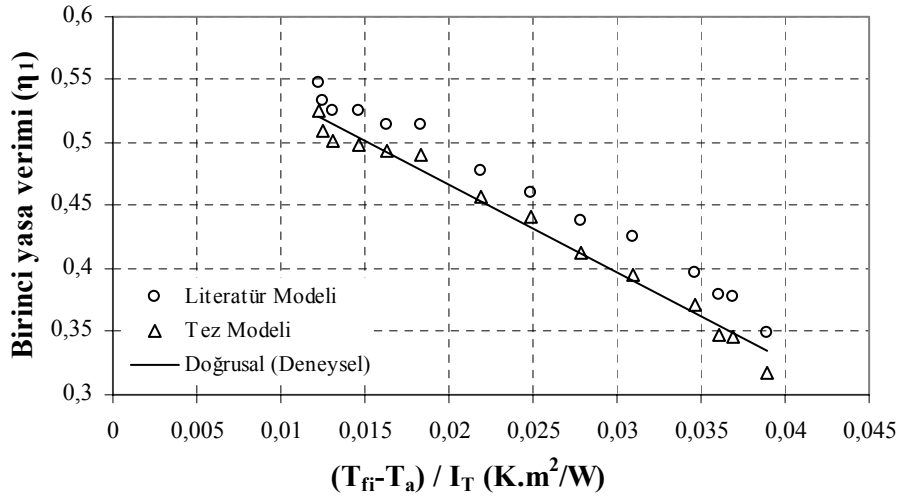
Akışkan giriş sıcaklığına göre deneysel olarak elde edilen doğrusal ve ikinci derece denklem takımı ile ifade edilen kolektör verim eğrisi üzerinde literatürden ve tez kapsamında oluşturulan ısı taşınım katsayıları kullanılarak elde edilen modellerin birinci yasa verim değişimi Şekil 8.68 ve 8.69’da verilmektedir.



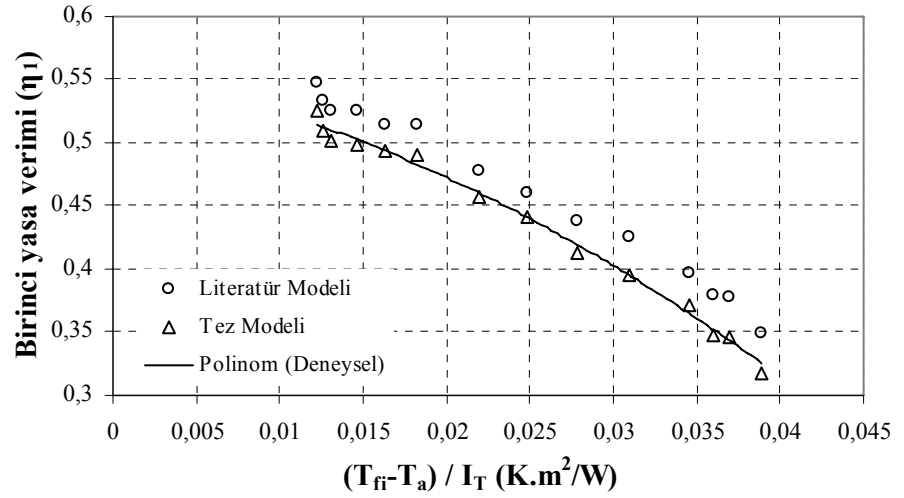
Şekil 8.66. Deneysel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:17)



Şekil 8.67. Deneysel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal ikinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:17)



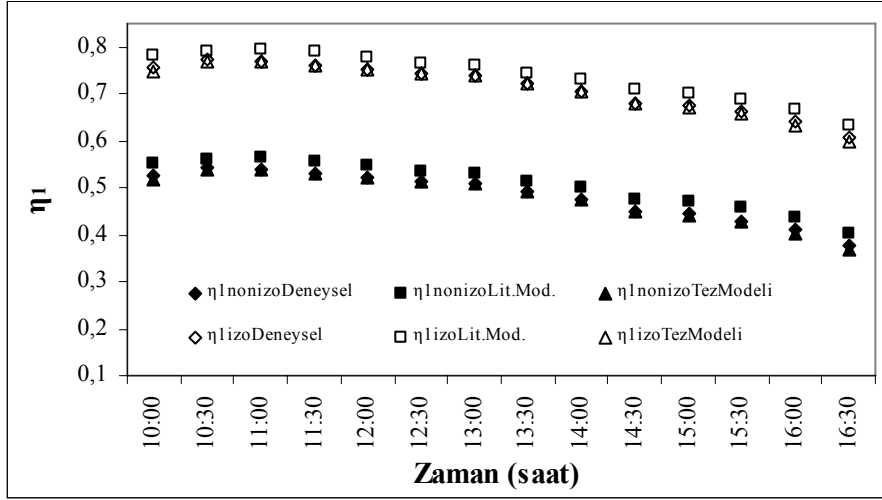
Şekil 8.68. Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel doğrusal çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$)



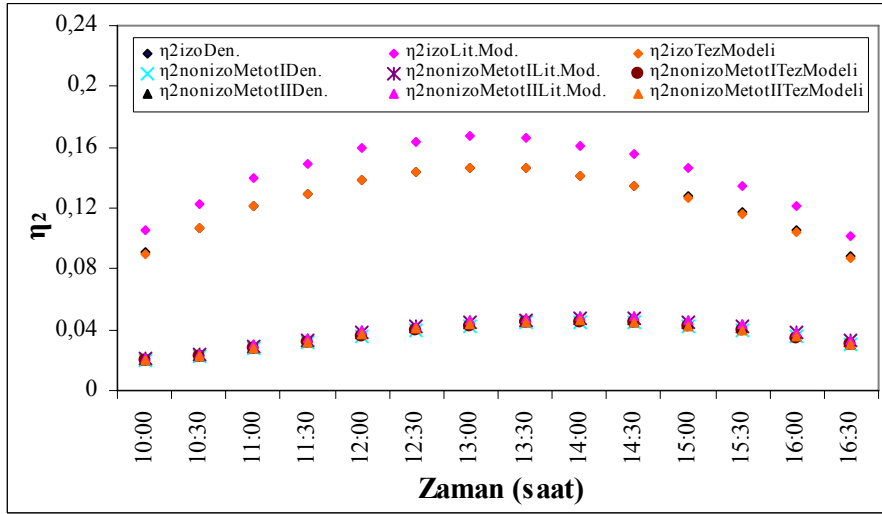
Şekil 8.69. Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel ikinci derece çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$)

Tek hava kanallı düzlemsel kolektörde dolaştırılan hava kütleli debisinin $0,04 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda deneysel, literatür ve tez modeli ile bulunan kolektörün gün içinde zamana bağlı izotermal ve nonizotermal birinci yasa ve ikinci yasa verimlerinin değişimi sırasıyla Şekil 8.70-8.71’de gösterilmektedir.

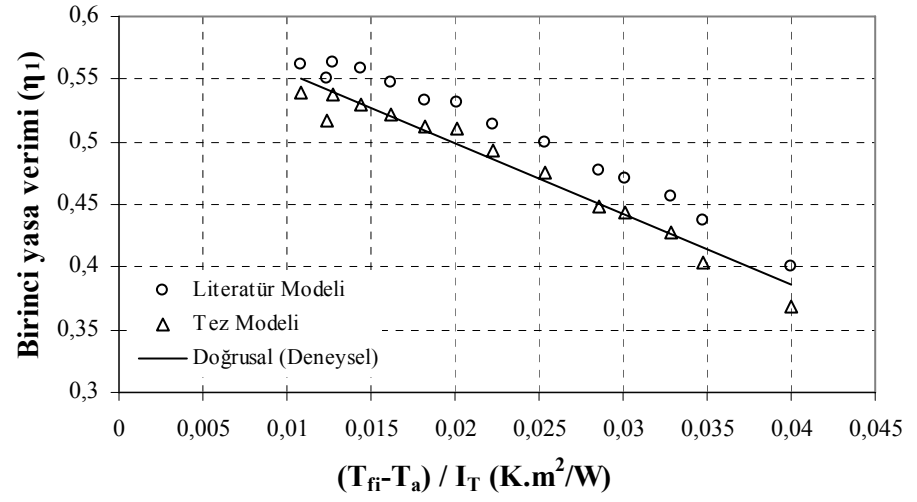
Akışkan giriş sıcaklığına göre deneysel olarak elde edilen doğrusal ve ikinci derece denklem takımı ile ifade edilen kolektör verim eğrisi üzerinde literatürden ve tez kapsamında oluşturulan ısı taşınım katsayıları kullanılarak elde edilen modellerin birinci yasa verim değişimi Şekil 8.72 ve 8.73’de verilmektedir.



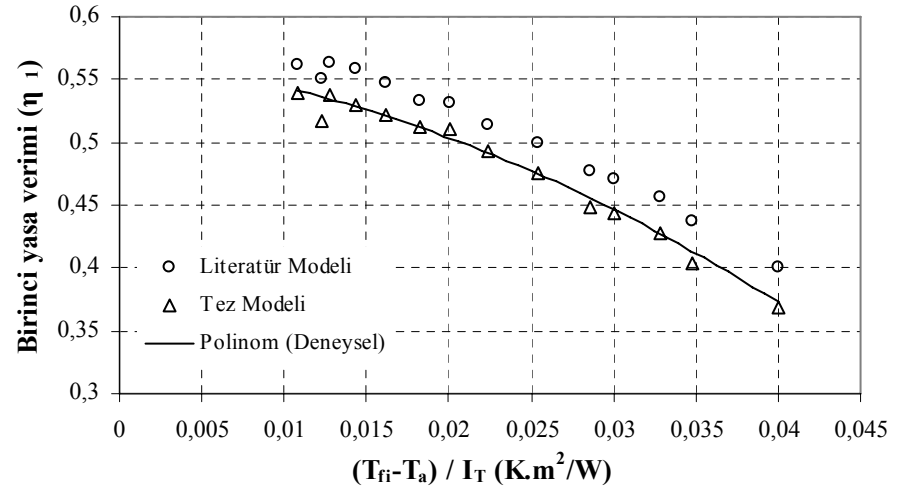
Şekil 8.70. Deneysel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:18)



Şekil 8.71. Deneysel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal ikinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:18)



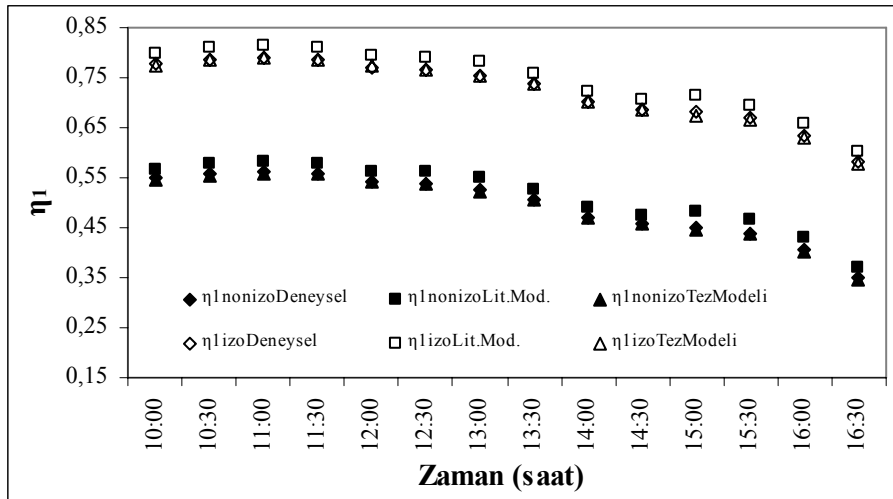
Şekil 8.72. Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel doğrusal çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$)



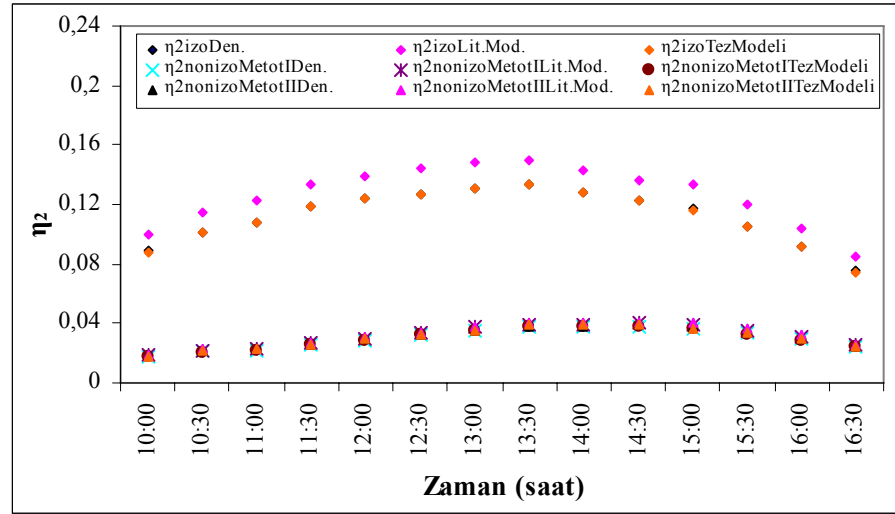
Şekil 8.73. Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel ikinci derece çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$)

Tek hava kanallı düzlemsel kolektörde dolaştırılan hava kütleli debisinin $0,048 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda deneysel, literatür ve tez modeli ile bulunan kolektörün gün içinde zamana bağlı izotermal ve nonizotermal birinci yasa ve ikinci yasa verimlerinin değişimi sırasıyla Şekil 8.74-8.75’de gösterilmektedir.

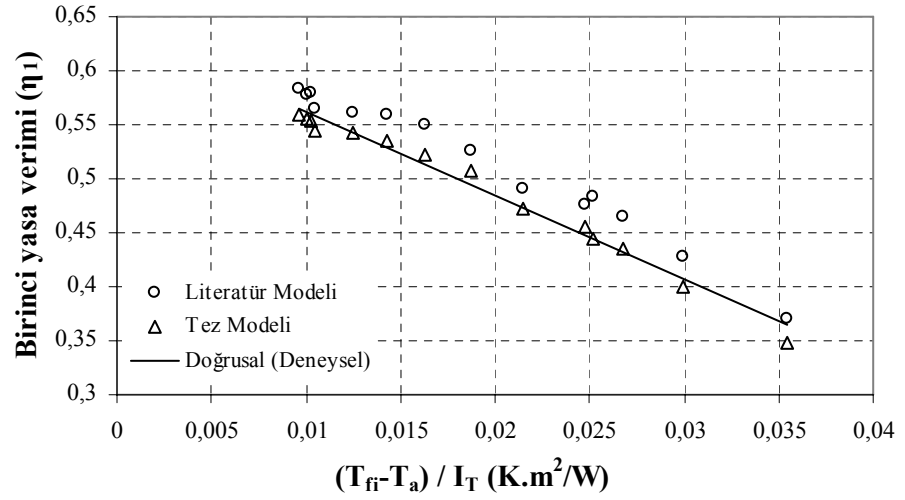
Akışkan giriş sıcaklığına göre deneysel olarak elde edilen doğrusal ve ikinci derece denklem takımı ile ifade edilen kolektör verim eğrisi üzerinde literatürden ve tez kapsamında oluşturulan ısı taşınım katsayıları kullanılarak elde edilen modellerin birinci yasa verim değişimi Şekil 8.76 ve 8.77’de verilmektedir.



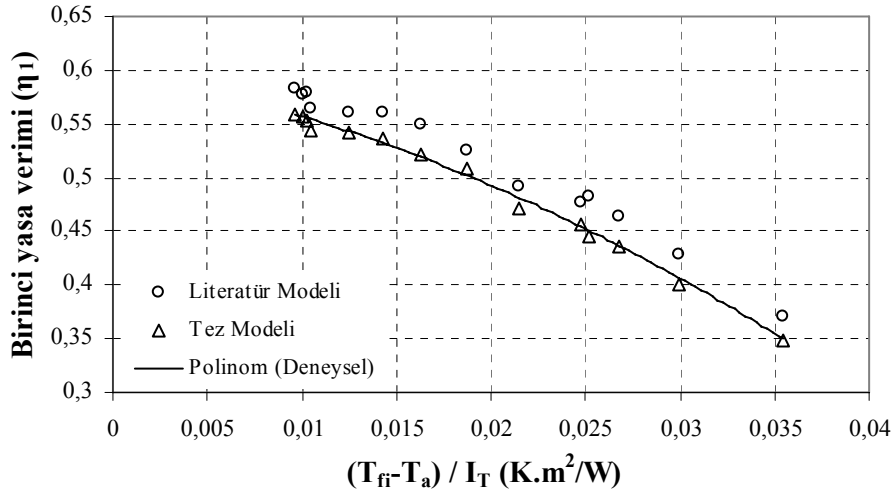
Şekil 8.74. Deneysel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:19)



Şekil 8.75. Deneysel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal ikinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:19)



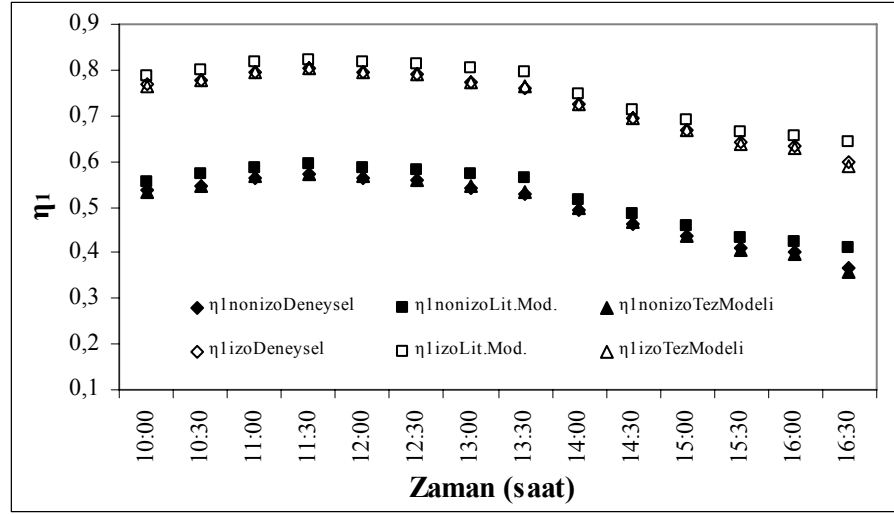
Şekil 8.76. Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel doğrusal çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$)



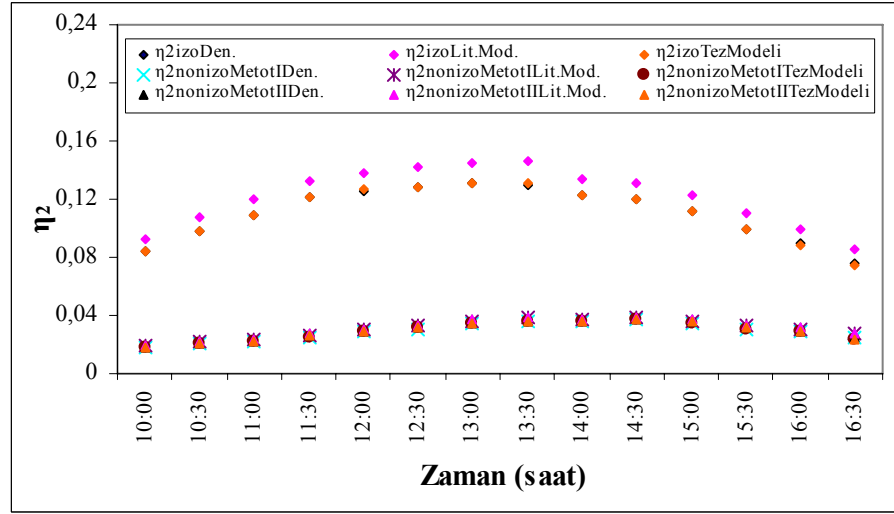
Şekil 8.77. Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel ikinci derece çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$)

Tek hava kanallı düzlemsel kolektörde dolaştırılan hava kütleli debisinin $0,055 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda deneysel, literatür ve tez modeli ile bulunan kolektörün gün içinde zamana bağlı izotermal ve nonizotermal birinci yasa ve ikinci yasa verimlerinin değişimi sırasıyla Şekil 8.78-8.79’da gösterilmektedir.

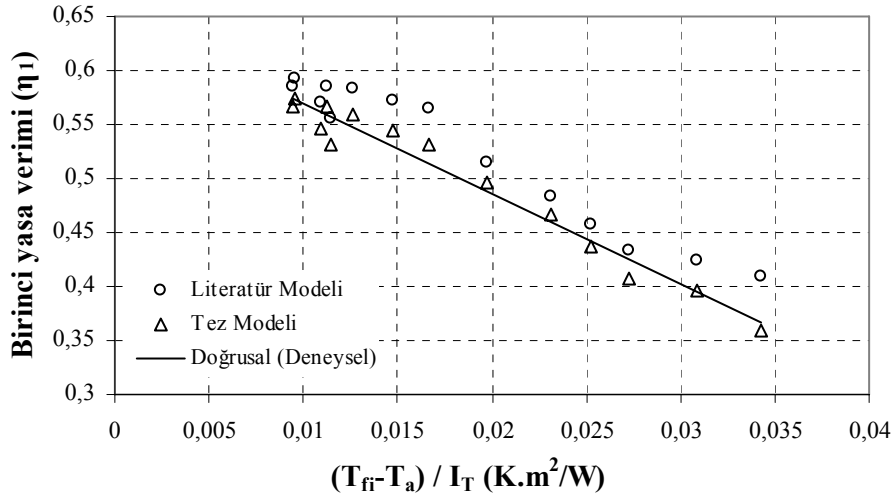
Akışkan giriş sıcaklığına göre deneysel olarak elde edilen doğrusal ve ikinci derece denklem takımı ile ifade edilen kolektör verim eğrisi üzerinde literatürden ve tez kapsamında oluşturulan ısı taşınım katsayıları kullanılarak elde edilen modellerin birinci yasa verim değişimi Şekil 8.80 ve 8.81’de verilmektedir.



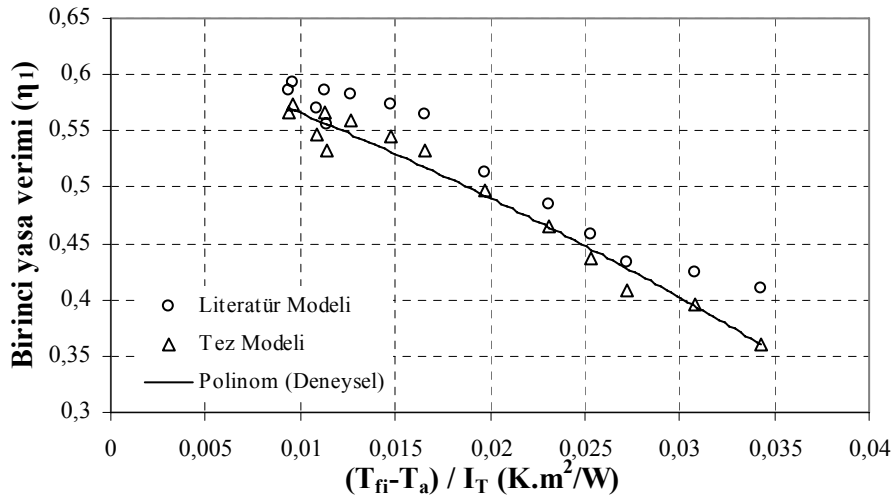
Şekil 8.78. Deneyisel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:20)



Şekil 8.79. Deneyisel, literatür ve tez modeline göre izotermal ve nonizotermal ikinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$ Deney No:20)



Şekil 8.80. Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel doğrusal çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$)



Şekil 8.81. Akışkan giriş sıcaklığına göre kolektör deneysel ikinci derece çalışma eğrisi üzerinde literatür ve tez modeli birinci yasa verimi dağılımı ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$)

8.5 Kolektörler İçin Geliştirilen Model Sonuçlarının İstatistiksel Analizi

Genellikle modeller ortalama sapma hatası (MBE), ortalama karekök hatası (RMSE), ortalama yüzde hata (MPE) ve ortalama mutlak sapma hatası (MABE) olarak isimlendirilen analiz yöntemleri ile değerlendirilir. Bu hata terimleri sırasıyla aşağıdaki eşitliklerle tanımlanır.

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (HD_i - \ddot{O}D_i)}{GS}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (HD_i - \ddot{O}D_i)^2}{GS}}$$

$$MPE = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{HD_i - \ddot{O}D_i}{\ddot{O}D_i} \times 100 \right)}{GS}$$

$$MABE = \frac{\sum_{i=1}^n |(HD_i - \ddot{O}D_i)|}{GS}$$

Bu eşitliklerde HD_i ve $\ddot{O}D_i$ sırasıyla i . hesaplanan ve ölçülen değerler, GS gözlem sayısıdır. MBE'nin pozitif işareti modelin üstündeki değeri, negatif işareti ise modelin altında değeri gösterir. Bunun yanında, RMSE testi model ve ölçülen değerler arasında gerçek dağılım terim

terim karşılaştırması nedeniyle iyi sonuç verir. RMSE sıfıra yaklaştıkça modelin geçerliliği artmaktadır. MBE değerleri sistematik hata veya sapmaları gösterirken RMSE temel hata analizleri gibi sistematik olmayan hataları gösterir. MPE değerlerinin hesaplamasında hataların işaretleri ihmal edilir. MABE mutlak ortalama mutlak sapma hatasını verir ve modelin doğruluk ölçüsünü vermektedir. İyi bir model için MBE, RMSE, MPE ve MABE ortalama değerleri küçük olmalıdır (Rehman, 1999).

Çizelge 8.35, 8.36 ve 8.37’de sırasıyla seçici yüzeyli, kıvrımlı galvaniz oluk yüzeyli ve tek hava kanalı düzlemsel güneş kolektörlerinin literatür ve tez modeli sonuçlarının istatistiksel analizleri verilmektedir. Çizelgelerden görüldüğü gibi tez modeli sonuçlarının literatür modeli sonuçlarından daha küçük değerlere sahip olduğu ve sıfıra yaklaştığı görülmektedir.

Çizelge 8.35. Seçici yüzeyli kolektörün literatür ve tez modeli sonuçlarının istatistiksel analizi

m (kg/sm ²)	MBE				RMSE				MPE				MABE			
	Nonizo Lit. Mod.	Nonizo Tez Modeli	İzo Lit. Mod.	İzo Tez Model	Nonizo Lit. Mod.	Nonizo Tez Modeli	İzo Lit. Mod.	İzo Tez Model	Nonizo Lit. Mod.	Nonizo Tez Modeli	İzo Lit. Mod.	İzo Tez Model	Nonizo Lit. Mod.	Nonizo Tez Modeli	İzo Lit. Mod.	İzo Tez Model
0,025	0,0746	0,0044	0,074	0,0042	0,0746	0,0295	0,0747	0,0294	12,4694	0,5989	10,4454	0,4873	0,0746	0,023	0,0747	0,0229
0,033	0,0683	-0,0065	0,0678	-0,007	0,0683	0,0347	0,068	0,0351	11,0836	-1,2901	9,2355	-1,137	0,0683	0,028	0,0678	0,0284
0,04	0,0673	-0,0092	0,0675	-0,009	0,0674	0,0332	0,0676	0,0333	10,5037	-1,6539	8,9089	-1,39	0,0673	0,0259	0,0675	0,026
0,048	0,0653	-0,0032	0,0655	-0,003	0,0653	0,0349	0,0656	0,0356	10,1185	-0,7389	8,5884	-0,682	0,0653	0,0277	0,0655	0,0282
0,055	0,0613	0,0046	0,0616	0,0040	0,0614	0,0332	0,0617	0,0332	9,3565	0,5110	7,972	0,3781	0,0613	0,0267	0,0616	0,0268

Çizelge 8.36. Kıvrımlı galvaniz oluk yüzeyli kolektörün literatür ve tez modeli sonuçlarının istatistiksel analizi

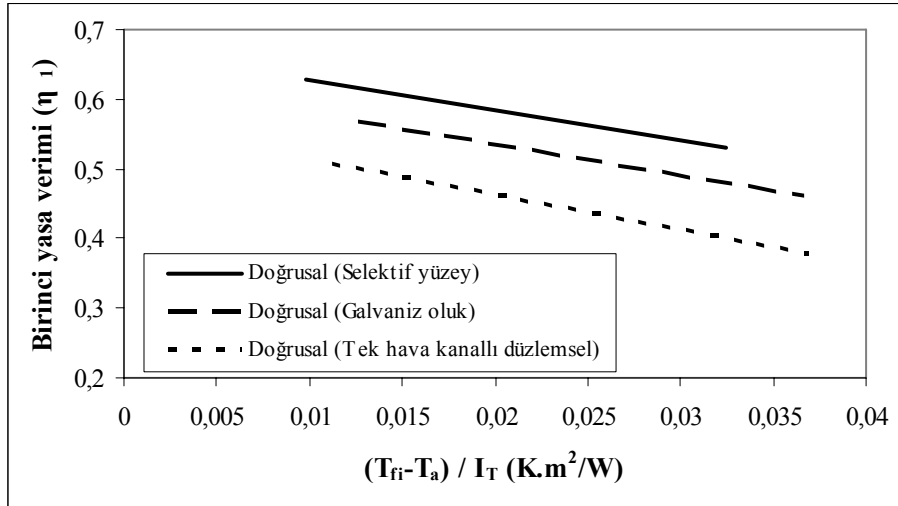
m (kg/sm ²)	MBE				RMSE				MPE				MABE			
	Nonizo Lit. Mod.	Nonizo Tez Modeli	İzo Lit. Mod.	İzo Tez Model	Nonizo Lit. Mod.	Nonizo Tez Modeli	İzo Lit. Mod.	İzo Tez Model	Nonizo Lit. Mod.	Nonizo Tez Modeli	İzo Lit. Mod.	İzo Tez Model	Nonizo Lit. Mod.	Nonizo Tez Modeli	İzo Lit. Mod.	İzo Tez Model
0,025	0,0309	-0,00471	0,0308	-0,004	0,031008	0,006369	0,0309	0,0065	5,961586	-0,93421	4,117460	0,668	0,030928	0,0049	0,0309	0,005
0,033	0,0317	0,002642	0,0313	0,0024	0,031823	0,004728	0,0314	0,0046	6,000827	0,46036	4,128236	0,3084	0,031714	0,0041	0,0314	0,004
0,04	0,0289	-0,00792	0,029	-0,008	0,028888	0,008803	0,0290	0,0089	5,180340	-1,46946	3,679075	-1,046	0,028857	0,0079	0,029	0,008
0,048	0,0317	-0,00942	0,0318	-0,009	0,0322	0,010378	0,0323	0,0104	5,70799	-1,68714	4,047458	-1,205	0,031714	0,0094	0,0319	0,0071
0,055	0,0269	0,000071	0,0269	-0,0002	0,027113	0,004079	0,0271	0,004	4,860193	-0,01057	3,436876	-0,039	0,026857	0,0034	0,0269	0,0034

Çizelge 8.37. Tek hava kanallı düzlemsel kolektörün literatür ve tez modeli sonuçlarının istatistiksel analizi

m (kg/sm ²)	MBE				RMSE				MPE				MAPE			
	Nonizo Lit. Mod.	Nonizo Tez Modeli	İzo Lit. Mod.	İzo Tez Model	Nonizo Lit. Mod.	Nonizo Tez Modeli	İzo Lit. Mod.	İzo Tez Model	Nonizo Lit. Mod.	Nonizo Tez Modeli	İzo Lit. Mod.	İzo Tez Model	Nonizo Lit. Mod.	Nonizo Tez Modeli	İzo Lit. Mod.	İzo Tez Model
0,025	0,025	-0,0005	0,024	0,0246	0,0251	0,002	0,024	0,002	5,717	-0,16	3,694	-0,13	0,025	0,001	0,024	0,003
0,033	0,024	-0,001	0,024	-0,0011	0,02502	0,001	0,024	0,001	5,916	-0,25	3,745	-0,18	0,024	0,001	0,024	0,003
0,04	0,024	-0,0025	0,023	-0,0027	0,024275	0,003	0,023	0,004	5,088	-0,55	3,344	-0,39	0,024	0,002	0,023	0,003
0,048	0,022	-0,0017	0,021	-0,0018	0,022673	0,002	0,022	0,002	4,637	-0,37	3,064	-0,27	0,022	0,002	0,021	0,002
0,055	0,024	-0,0002	0,024	-0,0003	0,025659	0,003	0,025	0,002	5,15	-0,10	3,446	-0,07	0,024	0,002	0,024	0,003

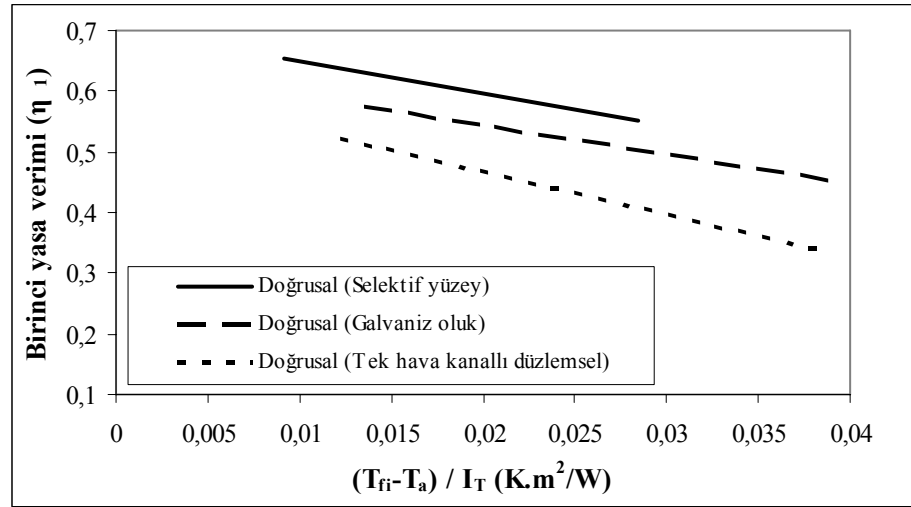
8.6. Kolektörlerin Deney Sonuçlarının Karşılaştırması

Kolektörler birbiri ile karşılaştırırken sistem içerisindeki çalışma aralıklarındaki birinci yasa verimliliklerinin dikkate alınması gerekmektedir. Bu amaçla, Şekil 8.82’de çalışma akışkanı giriş sıcaklığı ile çevre sıcaklığı arasındaki farkın kullanıldığı doğrusal çalışma parametresine bağlı olarak kolektör içinde dolaştırılan kütleli debisinin $0,025 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda kolektörlerin deneysel birinci yasa verimlerinin değişimi gösterilmiştir.



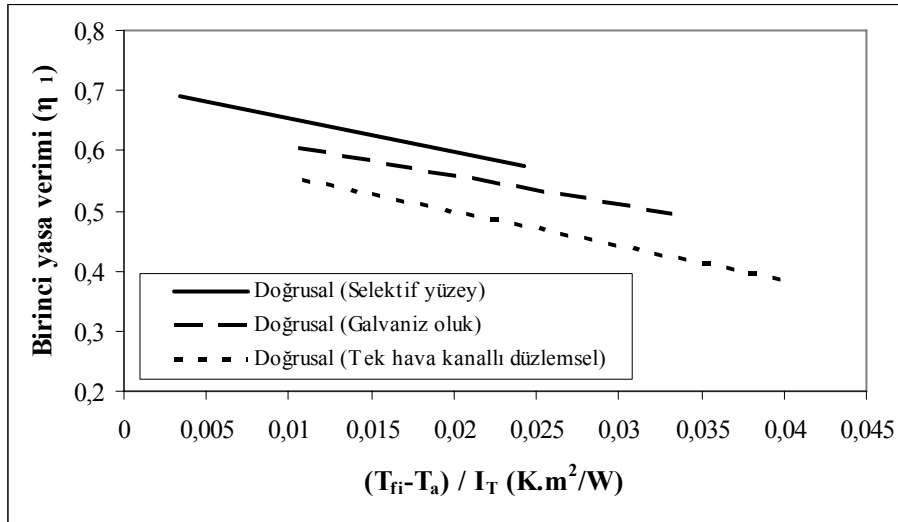
Şekil 8.82. Çalışma akışkanı giriş sıcaklığına göre kolektör doğrusal çalışma parametresine bağlı kolektörlerin deneysel birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,025 \text{ kg/sm}^2$)

Şekil 8.83’de çalışma akışkanı giriş sıcaklığı ile çevre sıcaklığı arasındaki farkın kullanıldığı doğrusal çalışma parametresine bağlı olarak kolektör içinde dolaştırılan kütleli debisinin $0,033 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda kolektörlerin deneysel birinci yasa verimlerinin değişimi gösterilmiştir.



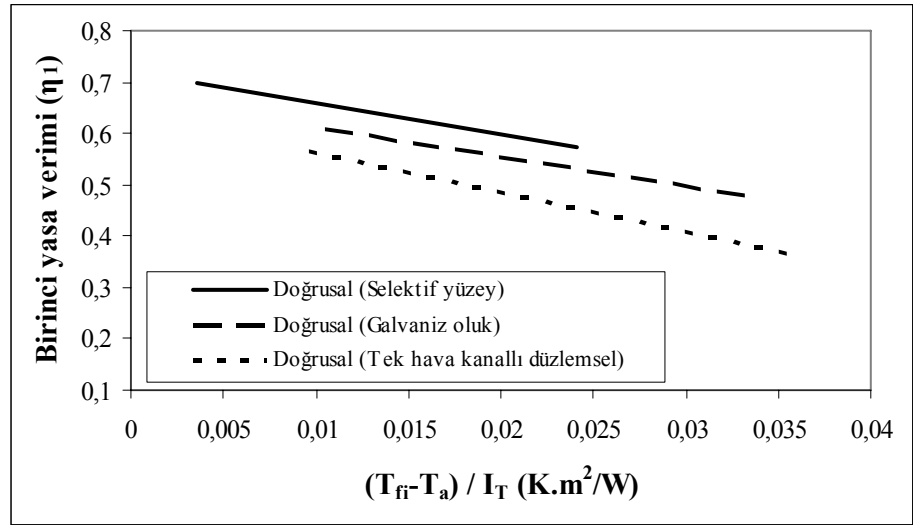
Şekil 8.83. Çalışma akışkanı giriş sıcaklığına göre kolektör doğrusal çalışma parametresine bağlı kolektörlerin deneysel birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,033 \text{ kg/sm}^2$)

Şekil 8.84’de çalışma akışkanı giriş sıcaklığı ile çevre sıcaklığı arasındaki farkın kullanıldığı doğrusal çalışma parametresine bağlı olarak kolektör içinde dolaştırılan kütleli debisinin $0,04 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda kolektörlerin deneysel birinci yasa verimlerinin değişimi gösterilmiştir.



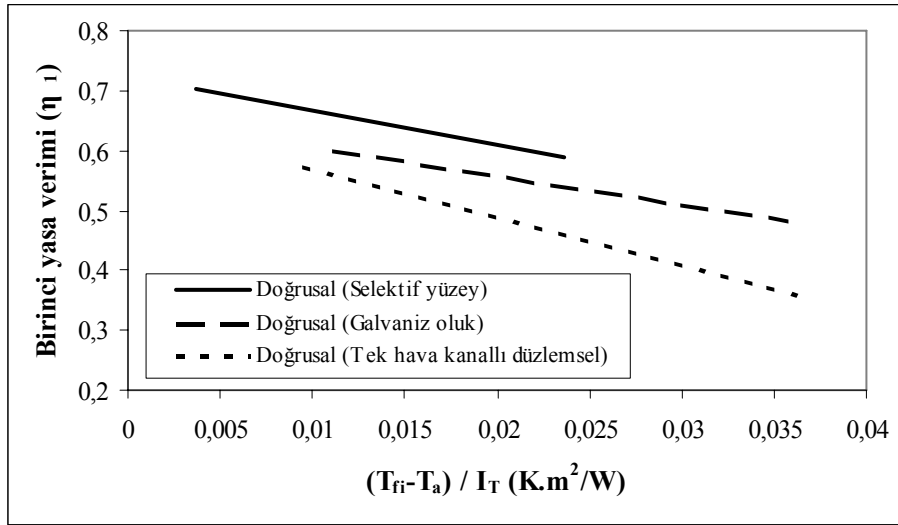
Şekil 8.84. Çalışma akışkanı giriş sıcaklığına göre kolektör doğrusal çalışma parametresine bağlı kolektörlerin deneysel birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,04 \text{ kg/sm}^2$)

Şekil 8.85’de çalışma akışkanı giriş sıcaklığı ile çevre sıcaklığı arasındaki farkın kullanıldığı doğrusal çalışma parametresine bağlı olarak kolektör içinde dolaştırılan kütleli debisinin $0,048 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda kolektörlerin deneysel birinci yasa verimlerinin değişimi gösterilmiştir.



Şekil 8.85. Çalışma akışkanı giriş sıcaklığına göre kolektör doğrusal çalışma parametresine bağlı kolektörlerin deneysel birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,048 \text{ kg/sm}^2$)

Şekil 8.86’da çalışma akışkanı giriş sıcaklığı ile çevre sıcaklığı arasındaki farkın kullanıldığı doğrusal çalışma parametresine bağlı olarak kolektör içinde dolaştırılan kütleli debisinin $0,055 \text{ kg/sm}^2$ olması durumunda kolektörlerin deneysel birinci yasa verimlerinin değişimi gösterilmiştir.



Şekil 8.86. Çalışma akışkanı giriş sıcaklığına göre kolektör doğrusal çalışma parametresine bağlı kolektörlerin deneysel birinci yasa verimleri ($\dot{m} = 0,055 \text{ kg/sm}^2$)

Hava akışkanlı güneş kolektörü ile ısıtma uygulamalarında kolektör tasarım parametrelerinin bilinmesi gerekmektedir. Bunun yanında kolektörleri karşılaştırmanın diğer bir yolu optik verimliliklerinin belirtilmesidir. Optik verimlilik, çevre ile kolektöre giren hava sıcaklığının eşit olması durumunda elde edilebilecek maksimum verim olarak tanımlanabilir. Çizelge 8.38’de her bir kolektör tipi için F_R , F^I , U_L ve optik verimlilik η_{optik} değerleri verilmektedir.

Çizelge 8.38. Kolektörlerin tasarım parametreleri ve optik verimlilikleri

Kütlesel Debi ($\dot{m}$)	Kolektör tipi	F_R	F^I	$(\tau\alpha)$	U_L $\frac{W}{m^2K}$	η_{optik}
0,025 kg/sm ²	Seçici yüzeyli	0,76	0,831	0,883	5,7	0,671
	Kıvrımlı yüzeyli	0,81	0,887	0,769	5,41	0,623
	Tek hava kanallı düzlemsel	0,735	0,817	0,769	6,58	0,565
0,033 kg/sm ²	Seçici yüzeyli	0,796	0,865	0,883	6,73	0,703
	Kıvrımlı yüzeyli	0,844	0,887	0,769	6	0,649
	Tek hava kanallı düzlemsel	0,787	0,879	0,769	8,86	0,606
0,04 kg/sm ²	Seçici yüzeyli	0,8	0,859	0,883	6,79	0,707
	Kıvrımlı yüzeyli	0,855	0,911	0,769	5,79	0,658
	Tek hava kanallı düzlemsel	0,793	0,852	0,769	7,07	0,610
0,048 kg/sm ²	Seçici yüzeyli	0,835	0,89	0,883	7,13	0,717
	Kıvrımlı yüzeyli	0,853	0,904	0,769	6,38	0,656
	Tek hava kanallı düzlemsel	0,831	0,903	0,769	9,3	0,639
0,055 kg/sm ²	Seçici yüzeyli	0,821	0,866	0,883	7,09	0,725
	Kıvrımlı yüzeyli	0,848	0,887	0,769	5,69	0,653
	Tek hava kanallı düzlemsel	0,841	0,906	0,769	9,51	0,647

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ülkemiz alternatif enerji kaynakları açısından zengin bir konumdadır. Türkiye'nin coğrafi konumu ve yapısı dikkate alındığında güneş enerjisi doğal kaynaklar arasından kendini ön plana çıkarmaktadır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nde mevcut bulunan 1966 ile 1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ışınlam şiddeti verilerinden yararlanarak Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), yatay yüzey için ortalama toplam ışınlam değeri 1311 kWh/(m².yıl) olarak tespit edilmiştir (EİE,2006).

Türkiye'de hava akışkanlı güneş kolektörleri uygulamaları sıvılı kolektörler gibi yaygın bir şekilde geliştirilememiştir. Bu çalışmada, üç farklı yutucu levhaya sahip değişik tipteki kolektörlerin izotermal ve nonizotermal modele göre enerji ve ekserji verimlilikleri analiz edilmiştir.

Enerjinin etkin bir şekilde kullanılabilmesi için süreçlerdeki tersinmezliklerin hesaplanması ve kullanılabilir enerji kaybına olan katkısı belirlenmelidir. Bu çalışmada, hava akışkanlı güneş kolektörlerinin ısı verimliliklerini etkileyen parametreler incelenerek modellemeler yapılmış ve tersinmezlikler araştırılmıştır. Farklı çalışma durumlarında birinci yasa (enerji) ve ikinci yasa (ekserji) verimleri hesaplanarak sonuçlar çizelgeler ve grafikler halinde verilmiştir.

İzotermal model analizi değişik araştırmacılar tarafından yapılan bir analizdir (Bejan, 1994, 1996; Saha, 2001; Akdemir, 2007). Bu analiz kapsamlı bir şekilde araştırma içerisinde genişletilmiştir. İzotermal

modelde, kolektör verim faktörü bir alınarak ($F^l=1$) farklı çalışma durumlarındaki kolektörlerin birinci ve ikinci yasa verimlilikleri hesaplanmıştır.

Nonizotermal model analizi, literatürde yaygın bir şekilde çalışılan analizdir. Araştırmacılar yaptıkları çalışmalarda kolektör giriş ve çıkış sıcaklıklarını hesaplamışlar ve buna göre enerji ve ekserji verimliliklerini ifade etmişlerdir. Kolektör boyunca sıcaklık dağılımı çok az araştırmacı tarafından değerlendirilmiştir (Naphon, 2003, 2005a). Bu analizde kapsamlı bir şekilde araştırılmış ve deneylerle desteklenmiştir. Literatürdeki mevcut bağıntılar göz önüne alınarak teorik hesaplamalar sonlu farklar metodu ile çözümlenmiş ve deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarını daha iyi şekilde yansıtan modellemeler oluşturulmuştur. Yapılan çalışmalarda oluşturulan modellerde kolektörler izotermal veya adyabatik ısı değiştirici olarak kabul edilmiştir ve sadece yutucu levha ile akışkan hava arasındaki ısı transfer mekanizması göz önüne alınmıştır (Hachemi, 1999; Kurtbaş ve Durmuş, 2004). Bu çalışmada, kolektörlerin adyabatik sistem olmadığı ve kayıpların önemli bir bölümünün cam örtü üzerinden olduğu görülmüş ve cam örtü sıcaklıkları da hesaba katılarak modeller oluşturulmuştur. Literatür ve tez modeli sonuçlarının geçerliliği istatistiksel hata yöntemleri ile tahlil edilmiştir.

Çalışma kapsamında oluşturulan grafik ve çizelgelerden elde edilen değerlendirmeler aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- a) İzotermal modele göre yutucu levha sıcaklığı ile çevre sıcaklığı eşit olduğu zaman kolektör birinci yasa verimi %100 olmaktadır. Şekil 5.2’de boyutsuz kolektör sıcaklığı arttıkça birinci yasa veriminin azaldığı görülmektedir.

- b) Çizelge 8.35-8.37’de hata değerleri incelendiğinde, seçici yüzeyli çift hava kanallı güneş kolektörlerinin literatür modeli ile deney sonuçları arasındaki farkın diğer kolektörlere nazaran daha fazla çıktığı görülmektedir.
- c) Metot I ile hesaplanan ekserji veriminin Metot II ile hesaplanan ekserji veriminden düşük çıktığı ve izotermal model ile hesaplanan verimlilik değerlerinin nonizotermal model ile hesaplanan verimlilik değerlerinden yüksek çıktığı görülmüştür.
- d) Çizelge 8.35-8.37’de tez modeli sonuçlarının hata değerinin literatür modeli sonuçların hata değerinden daha küçük olduğu ve sıfıra yaklaştığı görülmektedir. Oluşturulan model ile hesaplanan birinci yasa ve ikinci yasa verimlerinin deney sonuçlarına daha yakın çıktığı görülmüştür.
- e) Şekil 8.82-Şekil 8.86’da aynı kütleli debide benzer çalışma sıcaklık aralığında en yüksek verime seçici yüzeyli kolektörün sahip olduğu ve bunu sırasıyla kıvrımlı galvaniz oluk ve düzlemsel tek hava kanallı kolektörün takip ettiği görülmektedir.
- f) Çizelge 8.38’de kolektörlerin tasarım parametreleri verilmiştir. En düşük toplam ısı transfer katsayısı kıvrımlı galvaniz oluk yüzeyli kolektörde çıkmasına rağmen en yüksek optik verimlilik değeri seçici yüzeyli kolektörden elde edilmiştir. Seçici yüzeyli ve tek hava kanallı düzlemsel kolektörde kütleli debi arttıkça optik verimlilik artarken, kıvrımlı galvaniz yüzeyli kolektörde optik verimlilik değeri $0,033 \text{ kg/sm}^2$ debisinden sonra düşmektedir.

Bu çalışma kapsamında Türkiye’de hava akışkanlı güneş kolektörleri için uygun bir standart bulunmadığından dolayı ASHRAE 93-77 standartına göre kolektörlerin farklı debilerdeki ısı davranışları incelenmiştir. Çalışma akışkanı sıcaklığı ile çevre sıcaklığı arasındaki fark arttıkça çevreye olan ısı kayıplardan dolayı birinci yasa verimi düşmektedir. Kolektör verim eğrilerinin eğimi azaldıkça kolektörün ortalama birinci yasa verimi artmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma kapsamında farklı kütleli debi değerleri için deneysel olarak kolektör verim eğrileri oluşturulmuştur. Kolektör çalışma koşulları bilindiği takdirde bu grafikler genelleştirilmiş bir yapıda kullanılabilir. Sonraki çalışmalarda, hava akışkanlı güneş kolektörleri için enerji ve ekserji analizine bağlı ekonomik analizlerin değerlendirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abou-Ziyan, H.Z., Ahmed, M.F., Metwally M. N., Abd El-Hameed, H.M.,** 1997, Solar-assisted R22 and R134a heat pump systems for low-temperature applications, *Applied Thermal Engineering*, 17(5):455-469.
- Aboul-Enein, S., El-Sebaii, A.A., Ramadan, M.R.I., El-Gohary, H.G.,** 2000, Parametric study of a solar air heater with and without thermal storage for solar drying applications, *Renewable Energy*, 21:505-522.
- Abu-Hamdeh, N.H.,** 2003, Simulation study of solar air heater, *Solar Energy*, 74:309–317.
- Ahmad, A, Saini, J.S., Varma, H.K.,** 1995, Effect of geometrical and thermophysical characteristics of bed materials on the enhancement of thermal performance of packed bed solar air heaters, *Energy Conversion and Management*, 36(12):1185-1195.
- Ahmad, A, Saini, J.S., Varma, H.K.,** 1996, Thermohydraulic performance of packed bed solar air heaters, *Energy Conversion and Management*, 37(2):205-214.
- Ahmad, N.T.,** 2001, Agricultural solar air collector made from low-cost plastic packing film, *Renewable Energy*, 23:663-671.
- Akdemir, Ö.,** 2007, Düzlemsel güneş kolektörlerinin teorik ve deneysel olarak tersinmezlik ile optimizasyonu, Doktora tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 145s.
- Al-Kamil, M.T., Al-Ghareeb, A.A.,** 1997, effect of thermal radiation inside solar air heaters, *Energy Conversion and Management*, 38(14):1451-1458.
- Al-Nımr, M.A., Damseh, R.A.,** 1998, Dynamic behaviour of baffled solar air heaters, *Renewable Energy*, 13(2):153-163.

KAYNAKLAR (devam)

- Altfeld, K., Leiner, W., Fiebig, M.,** 1988, Second law optimization of flat-plate solar air heaters, Part 1, *Solar Energy*, 41 (2):127-132.
- Altfeld, K., Leiner, W., Fiebig, M.,** 1988, Second law optimization of flat-plate solar air heaters, Part 2, *Solar Energy*, 41(4):309-317.
- Alvarez, G., Arce, J., Lira, L., Heras, M.R.,** 2004, Thermal performance of an air solar collector with an absorber plate made of recyclable aluminum cans, *Solar Energy*, 77:107–113.
- Ammari, H.D.,** 2003, A mathematical model of thermal performance of a solar air heater with slats, *Renewable Energy*, 28:1597-1615.
- Asan, H., Namlı, L.,** 1997, Deneysel ısı transferi ve basınç kaybı çalışmalarında belirsizlik analizi, 11. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Edirne, 369-378.
- ASHRAE Standard 93-77,** 1977, Methods of testing to determine the thermal performance of solar collectors, ASHRAE, Atlanta.
- Badescu, V.,** 2002, Model of a space heating system integrating a heat pump, photothermal collectors and solar cells, *Renewable Energy*, 27:489-505.
- Badescu, V.,** 2003, Model of a thermal energy storage device integrated into a solar assisted heat pump system for space heating, *Energy Conversion and Management*, 44:1589–1604.
- Bejan, A.,** 1994, Entropy Generation Through Heat and Fluid Flow, John Wiley&Sons, 248p.
- Bejan, A.,** 1996, Entropy Generation Minimization, CRC Press, 362p.
- Biondi, P., Cicala, L., Farina, G.,** 1988, Performance analysis of solar air heaters of conventional design, *Solar Energy*, 41(1):101-107.

KAYNAKLAR (devam)

- Burgess W.A., Ellenbecker, M.J., Treitman, R.D.,** Ventilation for Control of the work Environment, John Wiley&Sons Ltd., 423p.
- Chiou, J.P., El-Wakil, M.M., Duffie, J.A.,** 1965, A slit and expanded aluminum-foil matrix solar collector, *Solar Energy*, 9(2):73-80.
- Choudhury, C., Chauhan, P.M., Garg H.P., Garg S.N.,** 1996, Cost-benefit ratio of triple pass solar air heaters, *Energy Conversion and Management*, 37(1):95-116.
- Çengel, Y.A., Cimbala, J.B.,** 2008, Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları, (Çev. T.Engin, H.R. Öz, H. Küçük, Ş. Çeşmeci) İzmir Güven Bilimsel,938s.
- Dewitt, D.P., Incropera, F.P.,** 1985, Fundamentals of heat and mass transfer, John Wiley&Sons Ltd., 802p.
- Dhiman, N.K., Tiwari, G.N.,** 1984, Performance of a two channel suspended flat plate solar air heater, *Energy Conversion and Management*, 4:269-275.
- Dincer, İ.,** 2002, The role of exergy in energy policy making, *Energy Policy*, 30:137-149.
- Dincer, I., Rosen, M.A.,** 2005, Thermodynamic aspects of renewables and sustainable development, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25(1):169-189.
- Duffie, J.A., Beckman, W.A.,** 1991, Solar Engineering of Thermal Process, John Wiley&Sons Ltd., 919p.
- Durmuş, A., Kurtbaş, İ.,** 2002, Yeni Tasarlanan Havalı Kollektör Yardımı İle Elazığ Yöresi Kayıplarının Kurutulması ve Kollektör Verimi, Balıkesir Üniversitesi, IV. Mühendislik-Mimarlık Sempozyumu, 11-12-13 Eylül 2002.

KAYNAKLAR (devam)

- E.İ.E.**, Ulaşım tarihi:2007, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, <http://www.eie.gov.tr>
- Enibe, S.O.**, 2002, Performance of a natural circulation solar air heating system with phase change material energy storage, *Renewable Energy*, 27:69-86.
- Enibe, S.O.**, 2003, Thermal analysis of a natural circulation solar air heater with phase change material energy storage, *Renewable Energy*, 28:2269-2299.
- Flores-Irigollen, A., Fernandez, J.L., Rubio-Cerda, E., Poujol, F.T.**, 2004, Heat transfer dynamics in an inflatable-tunnel solar air heater, *Renewable Energy*, 29:1367-1382.
- Forson, F.K., Nazha, M.A.A., Rajakaruna, H.**, 2003, Experimental and simulation studies on a single pass, double duct solar air heater, *Energy Conversion and Management*, 44:1209–1227.
- Gao, W., Lin, W., Lu, E.**, 2000, Numerical study on natural convection inside the channel between the flat-plate cover and sine-wave absorber of a cross-corrugated solar air heater, *Energy Conversion and Management*, 41:145-151.
- Gao, W., Lin, W., Liu, T., Xia, C.**, 2007, Analytical and experimental studies on the thermal performance of cross-corrugated and flat-plate solar air heaters, *Applied Energy*, 84:425–441
- Garg, H.P.**, 1982, Treatise on solar energy, Fundamentals of solar energy, Volume 1, John Wiley&Sons Ltd., 587p.
- Gunniewiek, L.H., Hollands, K.G.T., Brundrett, E.**, 2002, Effect of wind on flow distribution in unglazed transpired plate collectors, *Solar Energy*, 72(4):317-325.
- Gupta, C.L., Garg, H.P.**, 1966, Performance studies on solar air heaters, *Solar Energy*, 11(1):25-31.

KAYNAKLAR (devam)

- Gupta, D., Solanki, S.C., Saini J.S.,** 1993, Heat and fluid flow in rectangular solar air heater ducts having transverse rib roughness on absorber plates, *Solar Energy*, 51(1):31-37.
- Gupta, D., Solanki, S.C., Saini J.S.,** 1997, Thermohydraulic performance of solar air heaters with roughened absorber plates, *Solar Energy*, 61(1):33-42.
- Hachemi, A.,** 1997, Thermal heat performance enhancement by interaction between the radiation and convection in solar air heaters, *Renewable Energy*, 12(4):419-433.
- Hachemi, A.,** 1999, Experimental study of heat transfer and fluid flow friction in solar heater with and without selective absorber, *Renewable Energy*, 17:155,168.
- Hegazy, A.A.,** 1996, Optimization of flow-channel depth for conventional flat-plate solar air heaters, *Renewable Energy*, 7(1):15-21.
- Hegazy, A.A.,** 1999, Optimum channel geometry for solar air heaters of conventional design and constant flow operation, *Energy Conversion and Management*, 40:757-774.
- Hegazy, A.A.,** 2000, Thermohydraulic performance of air heating solar collectors with variable width, flat absorber plates, *Energy Conversion and Management*, 41:1361-1378.
- Hegazy, A.A.,** 2000, Performance of flat plate solar air heaters with optimum channel geometry for constant/variable flow operation, *Energy Conversion and Management*, 41:401-417.
- Hepbasli, A.,** 2008, A key review on exergetic analysis and assessment of renewable energy resources for a sustainable future, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12:593-61.

KAYNAKLAR (devam)

- Ho, C.D., Yeh, H.M., Wang, R.C.,** 2005, Heat-transfer enhancement in double-pass flat-plate solar air heaters with recycle, *Energy*, 30:2796–2817
- Ho, C.D., Yeh, C.W., Hsich, S.M.,** 2005, Improvement in device performance of multi-pass flat-plate solar air heaters with external recycle, *Renewable Energy*, 30:1601-1621.
- Holman, J.P.,** 2001, Experimental Methods for Engineers, McGrawHill, 698p.
- Janjai, S., Tung, P.,** 2005, Performance of a solar dryer using hot air from roof-integrated solar collectors for drying herbs and spices, *Renewable Energy*, 30:2085-2095.
- Jannot, Y., Coulibaly, Y.,** 1997, Radiative heat transfer in a solar air heater covered with a plastic film, *Solar Energy*, 60(1):35-40.
- Jannot, Y., Coulibaly, Y.,** 1998, The “evaporative capacity” as a performance index for a solar-drier air-heater, *Solar Energy*, 63(6):387-391.
- Jaurker, A.R., Saini, J.S., Gandhi, B.K.,** 2006, Heat transfer and friction characteristics of rectangular solar air heater duct using rib-grooved artificial roughness, *Solar Energy*, 80:895–907.
- Joudi, K.A., Dhaidan, N.S.,** 2001, Application of solar assisted heating and desiccant cooling systems for a domestic building, *Energy Conversion and Management*, 42:995-1022.
- Kabeel, A.E., Mearik, K.,** 1998, Shape optimization for absorber plates of solar air collectors, *Renewable Energy*, 13(1):121-131.
- Karwa, R., Solanki, S.C., Saini, J.S.,** 2001, Thermo-hydraulic performance of solar air heaters having integral chamfered rib roughness on absorber plates, *Energy*, 26:161-176.

KAYNAKLAR (devam)

- Karwa, R., Garg, S.N., Arya, A.K.,** 2002, Thermo-hydraulic performance of a solar air heater with n -subcollectors in series and parallel configuration, *Energy*, 27:807–812.
- Kavak Akpınar, E.,** 2005, Deneysel çalışmalardaki hata analizine bir örnek: kurutma deneylerindeki hata analizi, *Mühendis ve Makina*, 46(540):41-48.
- Kılıç, A., Öztürk, A.,** 1983, Güneş enerjisi, Kipaş Dağıtımçılık, 331s.
- Kotas, T.J.,** 1985, The Exergy Method of Thermal Plant Analysis, Anchor Brendon Ltd., 296p.
- Koyuncu, T.,** 2006, Performance of various design of solar air heaters for crop drying applications, *Renewable Energy*, 31:1073-1088.
- Kurtbaş, İ., Durmuş, A.,** 2004, Efficiency and exergy analysis of a new solar air heater, *Renewable Energy*, 29:1489-1501.
- Lalude, O., Buchberg, H.,** 1971, Design and application of honeycomb porous-bed solar-air heaters, *Solar Energy*, 13:223-242.
- Lin, W., Gao, W., Liu, T.,** 2006, A parametric study on the thermal performance of cross-corrugated solar air collectors, *Applied Thermal Engineering*, 26:1043–1053.
- Lumsdaine, E.,** 1969, Solar heating of a fluid through a semi-transparent plate: theory and experiment, *Solar Energy*, 12:457-467.
- Mathioulakis, E., Voropoulus, K., Belessiotis, V.,** 1999, Assessment of uncertainty in solar collector modeling and testing, *Solar Energy*, 66(5):337-347.
- McAdams, W.H.,** 1954, Heat transmission, McGraw-Hill, 532p.

KAYNAKLAR (devam)

- Metwally, M.N., Abou-Ziyan, H.Z., El-Leathy A.M.,** 1997, Performance of advanced corrugated-duct solar air collector compared with five conventional designs, *Renewable Energy*, 10(4):519-537.
- Mittal, M.K., Varshney, L.,** 2006, Optimal thermohydraulic performance of a wire mesh packed solar air heater, *Solar Energy*, 80:1112–1120.
- Mittal, M.K., Varun, Saini, R.P., Singal, S.K.,** 2007, Effective efficiency of solar air heaters having different types of roughness elements on the absorber plate, *Energy*, 32:739–745.
- Mohamad, A.A.,** 1997, High efficiency solar air heater, *Solar Energy*, 61(1):33-42.
- Momin, A.E., Saini, J.S., Solanki, S.C.,** 2002, Heat transfer and friction in solar air heater duct with V-shaped rib roughness on absorber plate, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 45:3383-3396.
- Müller-Schöll, C., Frei, U.,** 2000, Uncertainty analyses in solar collector measurement, Proceedings of Eurosun 2000 Conference, Copenhagen-Denmark.
- Naphon, P., Kontragool, B.,** 2003, Theoretical study on heat transfer characteristics and performance of the flat-plate solar air heater, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 30(8):1125-1136.
- Naphon, P.,** 2005, On the performance and entropy generation of the double-pass solar air heater with longitudinal fins, *Renewable Energy*, 30:1345-1357.
- Naphon, P.,** 2005, Effect of porous media on the performance of the double-pass flat plate solar air heater, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 32:140–150.

KAYNAKLAR (devam)

- Njomo, D.**, 1995, Techno-economic analysis of a plastic cover solar air heater, *Energy Conversion and Management*, 36(10):1023-1029.
- Ong, K.S.**, 1995, Thermal performance of solar air heaters: mathematical model and solution procedure, *Solar Energy*, 55(2):93-109.
- Ong, K.S.**, 1995, Thermal performance of solar air heaters- experimental correlation, *Solar Energy*, 55(3):209-220.
- Onyegegbu, S.O., Morhenne, J.**, 1993, Transient multidimensional second law analysis of solar collectors subjected to time-varying insolation with diffuse components, *Solar Energy*, 50(1):85-95.
- Özbalta, N., Güngör, A.**, 1992, Düzlemsel güneş enerjisi toplayıcılarında verim eşitlikleri ve dönüşümleri, *Güneş Enerjisi Enstitüsü Dergisi*, 1(4):41-49.
- Özbalta, N., Güngör, A.**, 2003, Düzlemsel güneş enerjisi toplayıcılarında verim eşitliklerinin değerlendirilmesi “Yeni Yaklaşım”, 1. Ege Enerji Sempozyumu ve Sergisi, Denizli.
- Özbalta, N., Güngör, A., Gürlek, G.**, 2003, Güneş enerjili hava toplayıcılarındaki gelişmeler ve tasarım parametrelerinin araştırılması, Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, 137-148, Mersin
- Öztürk, H.H., Başçetinçelik, A.**, 2003, Energy and Exergy Efficiency of a Packed-bed Heat Storage Unit for Greenhouse Heating, *Biosystems Engineering*, 86(2):231-245.
- Öztürk, H.H.**, 2005, Experimental evaluation of energy and exergy efficiency of a seasonal latent heat storage system for greenhouse heating, *Energy Conversion and Management*, 46:1523-1542.
- Parker, B.F.**, 1981, Derivation of efficiency and loss factors for solar air heaters, *Solar Energy*, 26:27-32.

KAYNAKLAR (devam)

- Parker, B.F., Lindley, M.R., Colliver, D.G., Murphy, W.E.,** 1993, Thermal performance of three solar air heaters, *Solar Energy*, 51(6):467-479.
- Rehman, S.,** 1999, Empirical model development and comparison with existing correlations, *Applied Energy*, 64:369-378.
- Petela, R.,** 2003, Exergy of undiluted thermal radiation, *Solar Energy*, 74:469-488.
- Pottler, K., Sippel, C.M., Beck, A., Fricke, J.,** 1999, Optimized finned absorber geometries for solar air heating collectors, *Solar Energy*, 67(1-3):35-52.
- Pramuang, S., Exell, R.H.B.,** 2005, Transient test of a solar air heater with a compound parabolic concentrator, *Renewable Energy*, 30:715-728.
- Rankine, A.D., Charters, W.S.,** 1969, Combined convective and radiative heat losses from flat-plate solar-air heaters, *Solar Energy*, 12:517-523.
- Saha, S.K., Mahanta, D.K.,** 2001, Thermodynamic optimization of solar flat-plate collector, *Renewable Energy*, 23:181-193.
- Sahu, M.M., Bhagoria, J.L.,** 2005, Augmentation of heat transfer coefficient by using 90° broken transverse ribs on absorber plate of solar air heater, *Renewable Energy*, 30:1601-1621.
- Selçuk, K.,** 1971, Thermal and economic analysis of the overlapped-glass plate solar-air heater, *Solar Energy*, 13:165-191.
- Sharma, S.P., Saini, J.S., Varma, H.K.,** 1991, Thermal performance of a packed-bed solar air heater, *Solar Energy*, 47(2):59-67.

KAYNAKLAR (devam)

- Swinbank, W.C.**, 1963, Long wave radiation from clear skies. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 89, 339.
- Sugözü, İ., Sarsılmaz, C.**, 2006, Havalı Güneş Kollektörü ile İç Ortam Isıtılmasının DeneySEL Olarak Araştırılması, *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi*, 18 (2):257-265.
- Suri, R.K., Saini, S.**, 1969, Performance prediction of single and double exposure solar air heaters, *Solar Energy*, 12:525-530.
- Tan, H.M., Charters, W.S.**, 1969, Effect of thermal entrance region on turbulent forced-convective heat transfer for an asymmetrically heated rectangular duct with uniform heat flux, *Solar Energy*, 12:513-516.
- Tan, M.**, 1997, Opposite sunspaces passive solar air heating system, *Solar Energy*, 60(3-4):127-134.
- Thakur, N.S., Saini, J.S., Solanki, S.C.**, 2003, Heat transfer and friction factor correlations for packed bed solar air heater for a low porosity system, *Solar Energy*, 74:319-329.
- Tırıs, M., Tırıs, Ç., Erdalli, Y.**, 1997, Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri, Marmara Araştırma Merkezi, Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü, 151s.
- Timoumi, S., Mihoubi, D., Zagrouba, F.**, 2004, Simulation model for a solar drying process, *Desalination*, 168:111-115.
- Toğrul, İ.T., Pehlivan, D.**, 2003, The performance of a solar air heater with conical concentrator under forced convection, *International Journal of Thermal Sciences*, 42:571-581.
- Toğrul, İ.T., Pehlivan, D., Akosman, C.**, 2004, Development and testing of a solar air-heater with conical concentrator, *Renewable Energy*, 29:263-275.

KAYNAKLAR (devam)

- Torres-Reyes, E., Navarrete-Gonzales, J.J., Ibarra-Salazar, B.A.,** 2002, Thermodynamic method for designs dryers operated by flat-plate solar collectors, *Renewable Energy*, 26:649-660.
- Torres-Reyes, E., J.J. Navarrete-Gonzalez, J.J., Zaleta-Aguilar, A., Cervantes-de Gortari, J.G.,** 2003, Optimal process of solar to thermal energy conversion and design of irreversible flat-plate solar collectors, *Energy*, 28:99-113.
- Toure, S.,** 2001, Characteristics temperatures in a natural convection solar air heater, *Energy Conversion and Management*, 42:1157-1168.
- Varshney, L., Saini, J.S.,** 1998, Heat transfer and friction factor correlations for rectangular solar air heater duct packed with wire mesh screen matrices, *Solar Energy*, 62(4):255-262.
- Verma, S.K., Prasad, B.N.,** 2000, Investigation for the optimal thermohydraulic performance of artificially roughened solar air heaters, *Renewable Energy*, 20:19-36.
- Whillier, A.,** 1964, Performance of Black-Painted Solar Air Heaters of Conventional Design, *Solar Energy*, 8(1):31-37.
- Yeh, H., Lin, T.,** 1996, Efficiency improvement of flat-plate solar air heaters, *Energy*, 21(6):435-443.
- Yeh, H., Lin, T.,** 1997, Solar air heaters with two collectors in series, *Energy*, 22(9):933-936.
- Yeh, H., Ho, C., Lin, C.,** 1998, The influence of collector aspect ratio on the collector efficiency of baffled solar air heaters, *Energy*, 23(1):11-16.
- Yeh, H., Ho, C., Hou, J.,** 1999, The improvement of collector efficiency in solar air heaters by simultaneously air flow over and under the absorbing plate, *Energy*, 24:857-871.

KAYNAKLAR (devam)

Yeh, H., Ho, C., Lin, C., 2000, Effect of solar collector aspect ratio on the collector efficiency of upward type baffled solar air heaters, *Energy Conversion and Management*, 24:857-871.

Yeh, H.M., Ho, C.D., Hou, J.Z., 2002, Collector efficiency of double-flow solar air heaters with fins attached, *Energy*, 27:715–727.

Yorgancıoğlu, H., 1996, Second Law Optimization of Air-cooled Flat-plate Solar Collectors, MSc Thesis, Middle East Technical University, 79p.

<http://www.sisecam.com.tr>

<http://www.sunstrip.com.tr>

<http://www.solarkey.dk>

ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Uşak'ta doğdu. Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden 2000 yılında Mühendis, 2003 yılında Yüksek Mühendis derecelerini aldı. 2002 yılında Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Uşak Makina Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. 2003 yılında Ege Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalında doktora eğitimine başladı ve 35. madde kapsamında Ege Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır. Termodinamik ve ısı tekniği konularında çalışmakta olup, İngilizce bilmektedir. Evli ve 1 çocuk babasıdır.