

**T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

BİTİRME TEZİ

**HAVALI GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİ ile KURUTUCU
TASARIMI**

Öğrencinin Adı ve Soyadı:

Gökhan Timuçin FEYZİOĞLU

Tezi Yöneten:

Yrd.Doc.Dr. Turhan ÇOBAN

Mayıs, 2011

İZMİR

SINAV SONUÇ FORMU

Aşağıda belirtilen bu çalışma, ... / ... / günü toplanan jürimiz tarafından, BİTİRME TEZİ olarak kabul edilmiştir / edilmemiştir.

Çalışmanın Adı : Havalı Güneş Kolektörleri ile Kurutucu Tasarımı

Öğrenci Adı, Soyadı : GÖKHAN TİMUÇİN FEYZİOĞLU

Öğrenci No : 05050007393

Danışmanın Ünvanı, Adı, Soyadı : Yrd.Doc.Dr. TURHAN ÇOBAN

Başarı Notu (rakam ve yazı ile) :

Başkan

Üye

Üye

ONAY

TEŐEKKÖR

Bu çalışmanın baőlangıcından bitimine kadar her aőamada çalışmayı yōnlendiren, ōzverili yardımlarını esirgemeyen Hocam Yrd.Doc.Dr. Turhan ÇOBAN'a, ve tasarım her aőamasında fikirleriyle projenin olgunlaőmasında bŷyŷk katkısı olan değerli arkadaőım Gŷner BOYACI'ya teőekkŷrŷ bir borç bilirim.

Gŷkhan Timuçin FEYZİOğLU

İzmir 13.05.2011

ÖZET

Güneş enerjisi petrol doğal gibi fosil yakıtların tükenmeye yüz tuttuğu günümüzde gittikçe daha fazla önem kazanmaktadır. Diğer taraftan bu yakıtların gerek taşınması gerek işlenmesi sırasında çevreye verilen zararlar dünya kamuoyunda ciddi tartışmalara yol açmaktadır. Fosil yakıt tüketiminin küresel ısınmanın baş sorunlularında olduğu düşünülmektedir.

Güneş enerjisi sistemleri sıcak su hazırlama, havalı kolektörler aracılığıyla hava ısıtma, seraların ısıtılması gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Bu tez kapsamında bir diğer uygulama alanı olan kurutma prosesleri üzerine bir tasarım yapılmıştır.

Uygulamada kullanılacak pek çok değişik kurutucu tip vardır. Bunlar birbirleri yerine kullanılabilir. Diğer taraftan sistematik bir şekilde yaklaşılarak kurutucu verimi artırılabilir. Bölüm I’de öncelikle kurutma hakkında temel kavramlar üzerine bilgi verilmiş, kurutucu türleri kısaca sınıflandırılmış, sınıflandırma kriterleri tanıtılmıştır.

Bölüm II’de ise temel enerji, ‘hayat kaynağımız’ olan güneş hakkında bilgi verilmiş, eğik yüzeylere düşen ve kullanılabilir ışınım miktarı hesaplarının nasıl yapıldığı anlatılmıştır.

Son bölümde ise kolektörün ve kurutucu bölme tasarımı hesaplamaları anlatılmıştır.

Kurutu sistem kayısı kurutma işlemi için hesaplanmış ve bu operasyon için tasarlanmıştır. Bununla birlikte diğer sebze ve meyvelerin kurutulmasında da kullanılabilir. Ülkemizde ve pek çok gelişmekte olan ülkede kurutma işlemleri açık havada gerçekleştirilmektedir. Çevre koşullarına açık olan bu kurutma ortamında pek çok olumsuzlukla karşılaşmaktadır. Karşılaşılan bu olumsuz durumlar; mahsul kaybı; tarım ilaçlarının ve çeşitli böceklerin kurutulacak maddeye karışması, aflatoksin oluşumu olarak sıralanabilir ve bu olumsuz durumlar çoğaltılabilir. Tasarımda öncelikle bu olumsuzlukları ortadan kaldıracak kontrollü bir kurutma ortamı sağlanmıştır. Diğer yandan ortalama bir hafta süren kurutma süreci 3 güne indirilmiştir.

Daha önceden de bu tasarıma benzer pek çok tasarım yapılmıştır. Bununla birlikte pek çok sistemde kurutma sonunda hala kullanılabilir ısı barındıran atık hava dışarı atılmaktadır. Tasarımda ısı değiştiricisi kullanılarak verimde ve kapasitede önemli ölçüde artış sağlanmıştır. Kolektöre eklenen ısı transfer yüzeyini arttıran kanatçık yapısının da bu artışta önemli payı vardır. Yapılan hesaplamalara göre üç güneş kolektörü ve bir kanatçık plakalı çapraz akışlı ısı değiştirici kullanılarak 525kg kapasiteye ulaşılmıştır.

Bölüm I

KURUTMA TEKNİĞİ ve ENDÜSTRİYEL KURUTUCULAR

1.KURUTMA TEKNİĞİ

Kurutma işlemi gazlardan, sıvılardan veya katılardan su veya diğer sıvıların uzaklaştırılmasıdır. Kurutma teriminin en yaygın kullanım yeri katı maddelerden ısı yöntemlerle su veya uçucu maddelerin buharlaştırılarak uzaklaştırılmasıdır [1]. Kurutma uygulamalarında nemin buharlaştırılması için gereken ısı, kurutulacak maddeyi sıcak gazlarla doğrudan temas ettirerek taşınım veya ışınım ile veya kurutulacak maddeyle temas eden katı yüzeyden iletimle transfer edilir. Kurutma proseslerinde ısı ve kütle transferi aynı anda meydana gelir. Kurutma ortamı hava koşulları ve malzeme özellikleri önemli parametrelerdir. Bu nedenle nemli havanın ve kurutulacak malzemenin özellikleri bilinmelidir.

1.1 Nemli Havanın Özellikleri

Nem alma ve nemlendirme işlemlerinde saf sıvı faz ve bu sıvı ile tepkimeye girmeyen gaz arasında madde transferi söz konusudur. Bu süreçlerdeki madde transferi bazı prosesler için kolay olmasına karşın bazılarında ise oldukça karmaşıktır. Kurutma işlemlerinde ısı ve madde transferi aynı anda birlikte meydana gelir. Sıcak gazdan kurutulan ürüne ısı transferi meydana gelirken kurutulan üründen de gaz akışkana madde transferi meydana gelir. Endüstriyel kurutma proseslerinin çoğunda, ön ısıtılmış hava, kurutma ortamı olarak kullanılır. Kurutulan üründe de nem olarak su bulunur. Kurutma sistemlerinin mühendislik tasarımında hesaplamaların yapılabilmesi için bazı temel tanımlamaların yapılması gerekir [3][4].

Kuru hava: Su buharı (nem) içermeyen hava

Nemli hava: Su buharı içeren hava

Mutlak Nem (Özgül Nem): Kuru havanın (a) birim kütlesi tarafından taşınan su buharın (v) kütlesidir. Tanımından dolayı karışımdaki su buharın kısmi basıncına bağlıdır. (toplam basınç sabit ise)

$$w = \frac{m_v}{m_a} = \frac{M_v P_v}{M_a (P - P_v)} = 0.662 \frac{P_v}{(P - P_v)} \quad (\text{kg}_w/\text{kg}_a) \quad (1.1)$$

M_v, M_a : Su buharı ve kuru havanın mol kütlelerini

P_v : Su buharının kısmi basıncını,

P : Toplam Basıncı göstermektedir.

Gaz fazında mutlak nem ile mol kesri arasında şu bağıntı vardır.

$$y_{ni} = \frac{w/M_v}{1/M_a + w/M_v} \quad (1.2)$$

w/M_v genelde $1/M_a$ 'ye göre daha küçüktür. Dolayısıyla y_{ni} değeri, mutlak nem ile doğrudan orantılıdır diyebiliriz.

Doymuş Hava (Doygunluk Nemi) Özgül Nemi: Hava sıcaklığındaki sıvı su ile dengede olan su buharı içeren gazdır. Dalton yasasına göre doymuş bir gazda(hava), su buharın kısmi basıncı, hava sıcaklığındaki (kuru termometre sıcaklığı) suyun buhar basıncına eşittir.

$$w_s = \frac{M_v P_g}{M_a (P - P_g)} \quad (1.3)$$

Burada: w_s : Doygunluk Nemi, P_g , TKT sıcaklığında su buharının doyma basıncıdır.

Bağıl Nem (ϕ): Su buharının kısmi basıncının, gaz (hava) sıcaklığındaki suyun doyma buhar basıncına oranı olarak tanımlanır. Diğer bir tanımla, hava içindeki su buharı kütlesinin, doymuş hava içindeki buhar kütlesine oranıdır.

$$\phi = \frac{m_v}{m_g} = \frac{P_v V / R_v T}{P_g V / R_g T} = \frac{P_v}{P_g} \quad (1.4)$$

Yüzde bağıl nem ise: $\% \phi = 100 \frac{P_v}{P_g}$

Eşitliği ile hesaplanır. Bu oranın % 100 olması doymuş nemli havaya, % 0 olması kuru havaya karşılık gelir.

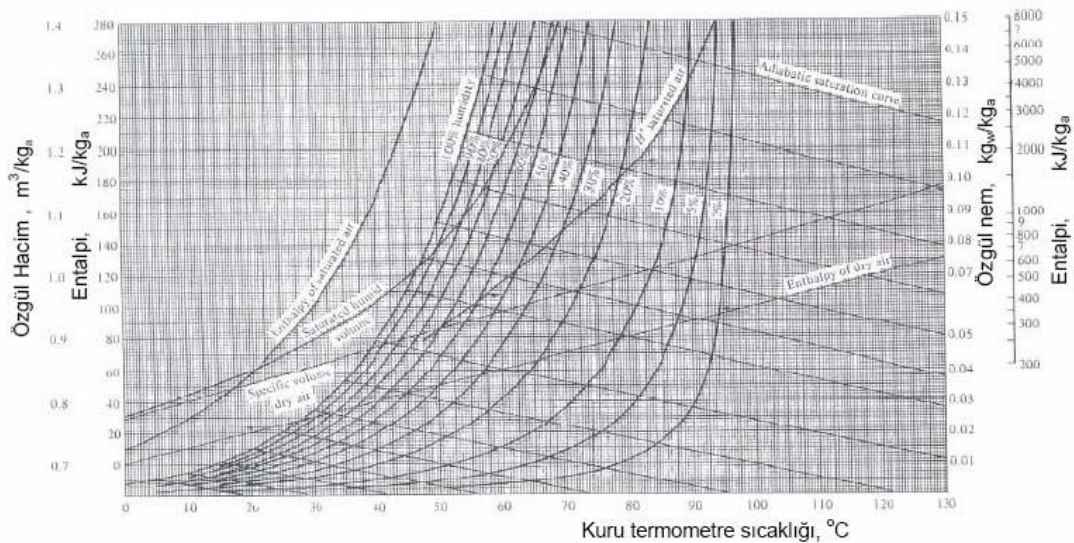
Yüzde Nem (w_v): Mutlak nemin, gaz (hava) sıcaklığındaki doyumluk nemine oranı olarak tanımlanır.

$$w_v = 100 \frac{w}{w_g} = 100 \frac{\frac{M_v P_v}{M_a (P - P_a)}}{\frac{M_v P_g}{M_a (P - P_g)}} = 100 \frac{P_v (P - P_g)}{P_g (P - P_v)} = (\% \phi) \frac{(P - P_g)}{(P - P_v)} \quad (1.5)$$

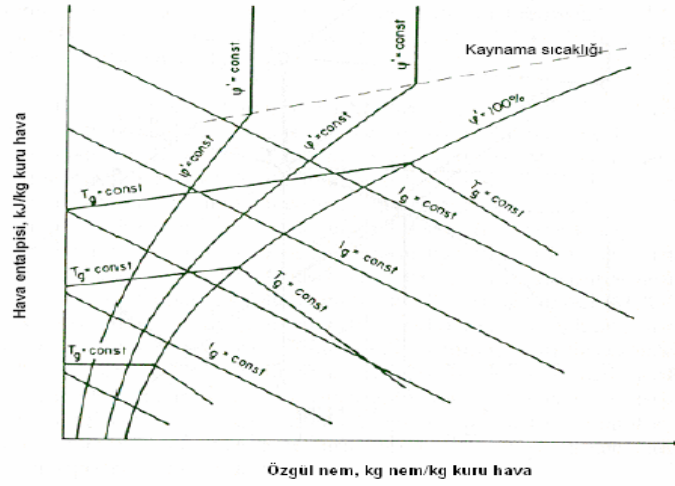
% 0 ve % 100'ün dışındaki tüm nemliliklerde yüzde nem, bağıl nemden daha düşüktür.

1.2. Nemli Hava İçin Kullanılan Diyagramlar

Şekilde görülen psikrometrik diyagramlar, kurutma ve nemlendirme süreçlerinin hem teorik hem de uygulama kısmında kullanılır. Bu kartlardan, mutlak nem, yüzde doyumluk nemi, nemli hacim, entalpi, adyabatik doyumluk doğruları, yaş termometre sıcaklıkları gaz sıcaklıklarının fonksiyonu olarak okunur. Bu amaçla hazırlanan diyagramlar aşağıda görülmektedir [3][4]. Kurutma proseslerine ait hesaplamalarda yaygın olarak kullanılan Psikrometrik diyagram ve Mollier diyagramı aşağıda verilmiştir.



Şekil 1.1 Hava-Su Sistemleri İçin Psikometrik Diyagram



Şekil 1.2 Hava-Su Sistemleri İçin Mollier Diyagram

Hava ve sudan başka herhangi bir sistem için istenen toplam basınçta nem diyagramları çizilebilir. İhtiyaç duyulan veriler sıcaklığın fonksiyonu olarak yoğuşabilen bileşiklerin buharlaşma gizli ısı, buhar basıncı, saf gaz ve buharın özgül ısıları ve her iki bileşiminde molekül kütleleridir.

Eğer nem diyagramını mol temeline göre hazırlamak istiyorsak tüm eşitlikler kolaylıkla molar birimlere dönüştürülebilir. Eğer diyagramı 1 atmosferden farklı bir basınçta hazırlamak istiyorsak bu denklemlerde gerekli olan düzeltmeler yapılmalıdır. Hava-su buharı dışında diğer bazı sistemler için nem diyagramları da yayınlanmıştır.

1.3. Katı maddenin nemi

Kurutma süreçlerinde ısı ve kütle transferi aynı anda gerçekleşir. Kurutulan maddeye kurutma ortamından değişik mekanizmalarla ısı transferi (iletim, taşınım, radyasyon gibi) meydana gelir [4]. Kurutulan maddenin içerdiği nem sıvı veya buhar halinde maddenin iç kısmından madde yüzeyine ve buradan da kurutma ortamına transfer olur. Kurutulan maddelerin çok değişik yapıya sahip olması (ağaç, kağıt, sabun, tuğla, sebze, meyve gibi) kurutma mekanizmalarının farklı olmasını gerektirir. Kurutucu tasarımında, kurutulan ürünün başlangıç ve son nemliliklerinin bilinmesi önemlidir.

1.3.1 Denge Nemi

Sıcaklığı ve nemi sabit olan hava akımıyla nemli bir katıyı temasla geçirelim. Havanın sıcaklık ve neminin sabit olması nedeniyle, özellikleri tüm işlem boyunca

değişmez [4][5]. Eğer hava ile maddenin temas süresinin yeterli kadar uzun olmasını sağlarsak özellikleri sabit olan hava ile temas eden maddenin nemi, belli bir değere ulaşır. Mevcut koşullarda hava ile maddenin daha uzun süre temas etmesi madde nemini değiştirmez.

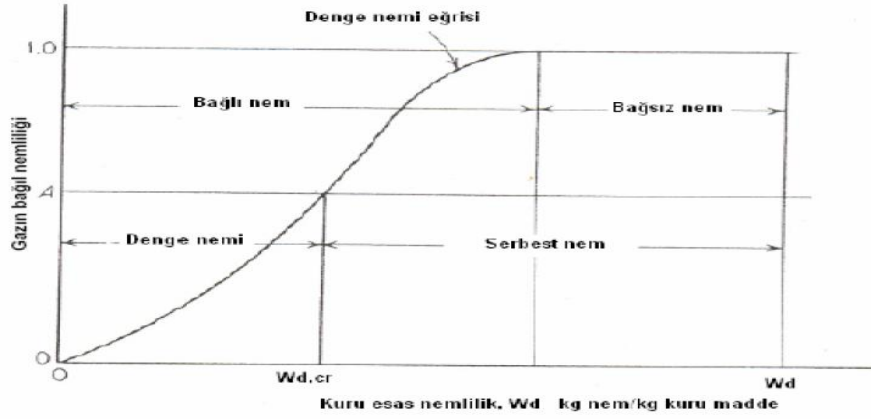
Denge nem miktarı maddelerin özellikleri ile yakından ilgilidir. Suda çözünürlüğü bulunmayan ve gözenekli bir yapıda olmayan maddelerde denge nem miktarının değişimi çok küçüktür. Kağıt, tahta, tütün, sabun yaprağı gibi kolloidal veya lifli yapıdaki maddelerin denge nem içerikleri temas ettikleri havanın sıcaklık ve bağıl nemine bağlı olarak geniş bir aralıkta değişim gösterirler. Maddenin temas ettiği havanın bağıl nemini sabit tutulup, sıcaklığı arttırılırsa denge nemi azalır.

Çoğu madde için denge-rutubet miktarı katının dengeye yaklaşma (absorpsiyon veya desorpsiyon) yönüne bağlıdır. Bu konu ile ilgili tipik bir durum şekilde görülmektedir.

Şekilden de görüleceği gibi maddenin belli bir sıcaklık ve bağıl nemdeki hava ile temasa geçmesi durumunda, yeterli temas süresi sağlanması koşuluyla ulaşacağı denge nem miktarı maddenin kurutulması (desorpsiyon) ya da nem absorplanmasına bağlı olarak değişik değerler alır. Kurutma işlemlerinde desorpsiyon dengesi dikkate alınır. Kurutulan maddenin temas ettiği belli bir sıcaklık ve bağıl nemdeki havanın etkisinde kalan maddenin denge–nem içeriği desorpsiyon durumunda absorpsiyona ait denge nem içeriğinden daha büyüktür.

Belirli bir sıcaklıkta, denge nem eğrilerini % 100 bağıl nemi kesecek şekilde uzatalım. Bu durumda okuyacağımız nem miktarı maddenin o koşullarda sahip olacağı en düşük nemdir. Maddenin içerdiği nemin (suyun) basıncı, aynı sıcaklıkta bulunan sıvı suyun gösterdiği buhar basıncına eşittir.

İncelenen madde bu kesim noktasına karşı gelen neminden daha fazla nem (su) içeriyorsa mevcut sıcaklıkta suyun buhar basıncına eşit buhar basıncını gösterir. Kesim noktasına karşı gelen nemden daha büyük nem içeriği bağırsız nem (su) olarak isimlendirilir. Kesim noktasına karşı gelen nemden daha az nem içermesi durumunda içerilen neme bağlı nem (su) denir. Bu bölgede maddenin içerdiği nemin denge buhar basıncı, aynı sıcaklıktaki saf suyun buhar basıncından daha düşüktür.



Şekil 1.3 Katıların Kurutulması Sırasında Görülen Nemlilik Türleri[4]

1.3.2 Serbest Nem

Maddenin denge nem miktarından daha fazla olarak içerdği nemdir [4][5]. Denge nem miktarı belirli koşullar altında (temas edilen havanın belli bir sıcaklık ve nemi) kurutabileceği en düşük değerdir. Bu değer üzerinde maddenin içerdği nem uzaklaştırılabilir.

Maddelerin içerdikleri nem değerleri yaş ve kuru madde esasına göre tanımlanır.

Yaş madde esasına göre nemlilik (W_w):

$$W_w = 100 \frac{m_w}{m_{km} + m_w} \quad (1.6)$$

m_w : Maddenin İçerdği Nem Kütlesi

m_{km} : Kuru Madde Kütlesi

Kuru madde esasına göre nemlilik (W_d):

$$W_d = 100 \frac{m_w}{m_{km}} \quad (1.7)$$

Yaş madde esasına göre nemlilik W_w ile kuru madde esasına göre nemlilik W_d arasında da:

$$W_w = \frac{W_d}{1 + W_d} \quad W_d = \frac{W_w}{1 - W_w}$$

İlişkisi mevcuttur.

2.ENDÜSTRİYEL KURUTUCULAR

İlk bölümde kurutma tekniği hakkında temel kavramlar anlatılmıştı. Bu bölümde endüstriyel kurutucuların basit bir sınıflandırılması yapılacaktır.

Kurutma gıda maddelerinin korunmasında kullanılan en önemli yöntemlerden biri olup kimya ve üretim süreçlerinde yaygın olarak kullanılan bir işlemdir [6].

Kimyasal süreçlerin en önemli basamaklarından biri kabul edilen kurutma, bir ürünün satışa sunulmasından önceki görünüm ve mukavemet özelliklerini en iyi yansıttığı rutubet seviyesine getirilmesi için uygulanan bir işlemdir. Kurutma işlemi ısı ve kütle aktarımının aynı anda gözlemlendiği karmaşık bir olaydır. İşlem sırasında kurutucu gazdan katıya doğru ısı aktarımı gerçekleşir. Ürünün kullanım kalitesi ile dayanım özelliklerinin olumsuz etkilenmesinden dolayı, bu işlemde son kurutma derecesinin çok önemli olduğu kabul edilmektedir. Bu sebeple kontrollü şartlarda gerçekleştirilmesi önemlidir [7].

Kurutma işleminin uygulanması ile malzemenin ekonomik olarak işlenmesi, nakliyesi için kütlesinin azaltılması, daha sonraki üretim aşamalarında gerekli koşulların sağlanması, ürünün sterilasyonu veya korunması, çözeltilerden bazı ürünlerin geri kazanılması gerçekleştirilebilir.

Birçok sektörde kurutma için tüketilen enerji toplam enerji tüketimi içinde önemli bir paya sahiptir. Bu oran kimyada % 6, tekstilde % 5, seramik ve diğer inşaat malzemeleri üretiminde % 11, kereste kurutmada % 11, gıda ve tarımsal ürünlerin kurutulmasında % 12 ve kağıt endüstrisinde % 33 düzeylerine ulaşabilmektedir.

Enerji tüketiminin yüksek olduğu konvektif kurutucularda nemin buharlaştırılması için gerekli enerji ve kurutucu akış havasıyla enerji kaybı, sistemin toplam enerji gereksiniminin önemli bir bölümünü oluşturur (Tablo 2.1).

Tablo 2.1 Bir konvektif kurutucuda enerji tüketiminin dağılımı [8]

Tüketim Noktaları	Enerji Gereksinimi	
	kJ/h	%
Buharlaştırma	975400	55
Kurutucu çıkış havası	521200	30
Destek donanımı	143900	8
Işınım kayıpları	47900	3
Sistemin ısıtılması	45800	3
Fan	13300	1

Tablo 2.2’de görüldüğü gibi, enerji yoğun bir süreç olan kurutmada kurutma etkinliği kurutucu tipine bağlı olarak % 20 ile % 90 arasında değişmektedir.

Tablo 2.2 Değişik kurutucularda kurutma etkinlikleri [6]

Kurutucu Tipi	Etkinlik (%)	Kurutucu Tipi	Etkinlik (%)
Direkt Sürekli		İndirekt Sürekli	
Konvektif	20 – 40	Silindirik	85
Flash	50 – 75	Döner	75 – 90
Bantlı	40 – 60	Kesikli	
Döner	40 – 70	Karıştırıcı, tepsili	90
Püskürtmeli	50	Vakumlu döner	70
Tünel	35 – 40	İnfrared	30 – 60
Akışkanlaştırılmış	40 – 80	Dielektrik	60
Yatak			
Kesikli, raflı	85		

Bu noktada Araştırma ve Geliştirme (Ar-Ge) açısından kurutmanın ne kadar etkileyici ve önemli olduğunu gösteren bazı özellikleri belirtmekte yarar vardır.

1. Ürünün boyutu mikron mertebesinde, santimetrenin katlarına kadar çıkabilir (kalınlık ya da derinlik olarak).
2. Ürünün gözenekli yapısı yüzde olarak 0’dan 99’a kadar değişebilir.
3. Kurutma zamanı 0,25 saniyeden (ince kağıdın kurutulması esnasında) beş aya (bazı sert ağaç türleri için) kadar çıkabilir.
4. Üretim kapasitesi 0,10 kg / h ile 100 t / h arasında değişebilir.
5. Ürün hızı sıfır ile (sabit durum) 2000 m/ s (ince kağıdın kurutulması esnasında) arasındadır.
6. Çalışma basıncı milibar mertebesinde 25 atmosfere kadar çıkabilir.

7. Isı sürekli ya da aralıklı olarak taşınım, iletim, ışınım ya da elektromanyetik dalgalar halinde transfer edilebilir.

Kurutma besleme stoğuna ısı verilip sıvının buharlaşmasını sağlayarak gerçekleşir. Daha önceden belirtildiği gibi ısı taşınımıyla (direkt kurutucular), iletimle (temasla ya da indirekt kurutucular), ışınım ya da hacimsel olarak ıslak materyali mikrodalga (microwave) ya da yüksek frekanslı (radio frequency) elektromanyetik dalgaya yerleştirmekle sağlanabilir. Endüstriyel kurutucuların % 85'i kurutma aracı olarak hava ya da doğrudan yanma gazlarını kullanan taşınımlı kurutuculardır. Uygulamaların % 99'u suyun uzaklaştırılmasını içerir. Dielektrik (mikrodalga ya da yüksek frekans) yöntemi dışında bütün uygulamalarda kurutma objesinin sınırlarına ısı verilir, böylece ısı öncelikle iletimle malzemenin içine transfer edilir. Nem, taşıyıcı gaz tarafından uzaklaştırılmadan önce malzemenin yüzeyine transfer olmalıdır [2].

2.1. Kurutma Sistemi Tipleri ve Seçimi

2.1.1. Kurutma Sistemi Seçimi

Bir kurutma sisteminin seçimi genel işlem sıralaması aşağıdaki gibidir:

1. Uygun kurutucuların incelenmesi
2. Değişik tiplerin ön maliyet tahminlerinin yapılması
 - Yatırım maliyeti
 - İşletme maliyeti
3. Prototip veya laboratuvar ünitesinde kurutma testi davranışları en uygun cihazın tipini belirleyebilir. Bazen bir örnek tesiste bu doğrulanabilir.
4. Kurutma deneylerinde kurutulan ürünlerin örnek ve kalitelerinin belirlenmesi.

Değişik gereksinimler kurutucunun tasarım esaslarını belirler. Örneğin ürünün kurutucuda taşınması çok önemli olup kurutucuda kalma süresiyle yakından ilgilidir. Ürünün başlangıçtaki durumu (sıvı, pasta, katı, toz, granüler, levha vb) tasarım esaslarında büyük etkiye sahiptir. Tablo 2.3'de bazı ürünlerin kuruma sıcaklıkları ve kurutma süreleri

verilmiştir [1]. Tablo 2.4’de ise kurutucu tiplerine göre üründen uzaklaştırılan su başına harcanan enerjiler görülmektedir [7].

Tablo 2.3 Bazı ürünlerin kuruma sıcaklıkları ve kurutma süreleri [1]

Malzeme Cinsi	Kurutma Sıcaklığı (°C)	Hafta	Gün	Saat
Meşe Tahtaları	32 – 52	1 – 4		
Yumuşak Tahtalar	70 – 105		2 – 14	
Tuğlalar	77			30
Kahve	50 – 72			12 – 48
Kauçuk	36 – 60		2 – 6	
Kabuksuz Hindistan Cevizi	65 – 92			4 – 20
Meşin ve Köseleler	26 – 38		2 – 6	
Meyveler	55 – 80			6 – 24
Üzüm	60 – 65			24
Elma	1. Kademe 70 – 88 2. Kademe 74			8
Şeftali, Armut	68			24 – 30
Şerbetçi Otu	50 – 65			6 – 12
Sebzeler	50 – 65			2 – 18
Havuç	1. Kademe 70 2. Kademe 65			14 – 24
Mantar	1. Kademe 44 2. Kademe 65			
Soğan	1. Kademe 70 – 88 2. Kademe 55 – 60			10 – 15
Deriler	21 – 32			2 – 150
Fırın Boyaları	105 – 175			1/4 – 6
Sabun	38 – 52			12 – 72
Tütün Yaprakları	29 – 55			12
Çay Yaprakları (Fanaj veya ilk kurutma)	38			4 – 8
Çay Yaprakları (Kurutma)	70 – 110			1 – 2

Tablo 2.4 Kurutucu tiplerine göre üründen uzaklaştırılan su başına harcanan enerjiler [7]

Kurutucu Tipleri	MJ/kg Uzaklaştırılan Su
Isı Pompalı Kurutucu	0,5 – 0,8
Direkt Egzoz Gazları İle Çalışılan Kurutucu	3,2 – 3,8
Hava İle Çalışan Kurutucu 70 – 100 °C	4,5 – 5,5
Kazandan Alınan Egzoz Gazları İle Kurutma (400 °C)	5,0 – 6,0
Kazandan Alınan Egzoz Gazları İle Kurutma (200 °C)	9,0 – 12,0
Bantlı ve Tünel Kurutucular	
Ters Akışlı Tepsili-Bantlı	8,0 – 16,0
Ters Akışlı Rafli-Tünel	6,0 – 16,0
Arasından Akışlı Tepsili-Bantlı	5,0 – 12,0
Vakumlu Tepsili-Bantlı-Levhali	3,5 – 8,0

Kurutma cihazlarının seçimi aşağıdaki sıralama dahilinde gerçekleştirilir.

a) Kurutucuların ön seçimi: Islak malzeme ve kuru ürün teminine en uygun kurutucu tipleri ön seçimi gerçekleştirilir. Kurutucularda bütün işlemlerin sürekliliği ve istenen fiziksel ve kalite özelliklerini elde etmesi ön koşulu aranır.

b) Kurutucuların ön karşılaştırılması: Ön seçilen kurutucular elde edilebilen veriler ışığında yaklaşık maliyet ve verimlilik açısından karşılaştırılır. Bu değerlendirmede verimlilik açısından uygunsuz veya ekonomik olmayan kurutucular sonraki değerlendirmelerde dikkate alınmaz.

c) Kurutma denemeleri (testleri): Bu denemeler halen değerlendirmeye alınmakta olan kurutucu tipleri için gerçekleştirilir. Bu testler en iyi çalışma koşullarını ve ürün karakteristiklerini belirler ve ayrıca cihaz satıcı firmaların aktardıkları bilgilerin doğruluğunun sınanmasını sağlayacaktır.

d) Kurutucu seçiminde karar verme: Kurutma testlerinden ve belirtilen özelliklerin değerlendirilmesiyle kurutucu seçimine karar verilebilir [1].

2.1.2. Kurutucuların Sınıflandırılması

Uzun seneler süren deneysel çalışmalar sonunda çok değişik tipte cihazlar meydana getirilmiştir. Hatta birbirine çok benzer uygulamalar için, birbirinden oldukça farklı birkaç cihaz kullanılmaktadır. Bu sadece, o endüstri kolunda uzun seneler boyunca meydana gelmiş alışkanlığın eseridir. Isı transfer yöntemine göre endüstriyel kurutucuların sınıflandırılması şöyledir:

2.1.2.1. Direkt kurutucular

Bu tip kurutucularda kurutma için gerekli ısının transferi ıslak ürün ile sıcak gazlar arasında direkt temas yoluyla gerçekleşir. Buharlaştıran sıvı ise kurutma ortamı olan sıcak gazlar tarafından kurutma hacminden uzaklaştırılır. Direkt kurutucular ayrıca taşınım kurutucuları olarak da adlandırılır.

a) Sürekli kurutucular: Kurutma işlemi, kurutulacak ıslak ürün beslediği müddetçe devam eder. İstendiğinde bu tip kurutucular kesikli olarak da çalıştırılabilirler.

1) Sürekli tepsi tipi kurutucular: Örnek olarak sürekli metal kayışlı, titreşimli, tepsili sıcak gaz kullanan, dikey turbo kurutucu verilebilir.

2) Sürekli levha tipi malzeme kurutucuları: Bu tip kurutucularda sürekli levha tipi malzeme kurutucu içinde sarkan veya gergin yapıdayken sıcak gaz akımı altında kurutma gerçekleşir [1]. Tekstil maddelerinin ve bazı cins kağıtların, özellikle baskı maksadı ile fazla miktarda dolgu yapılmış kağıtların kurutulmasında kullanılırlar.

3) Pnömatik taşımali kurutucular: Bu tip kurutucularda, kurutma genellikle öğütme işlemi ile birlikte yapılır. Kurutulacak malzeme yüksek sıcaklıklı ve yüksek hızlı gazlarla bir siklon tipi ayırıcıya (kollektöre) taşınır ve bu işlem esnasında kurutma işlemi de gerçekleşir.

4) Döner kurutucular: Bu tip kurutucularda malzeme döner silindir içinde hem taşınır, hem de serbest düşmeyle duşlama benzeri silindir alt yüzeyine düşer. Bu esnada malzeme sıcak gaz akımı ile temas ederek kuruma işlemi gerçekleşir. Bazı döner kurutucular indirekt ve direkt tiplerin birleşimidir. Örneğin sıcak gazlar önce iç gövde ve sonra iç ve dış gövde arasından geçer ve ıslak katı madde ile temas eder.

5) Püskürtmeli (spray) kurutucular: Püskürtmeli kurutucular genellikle süt tozu, kahve, sabun ve deterjan üretiminde kullanılırlar[1]. Spray formundaki toz haline getirilmiş besleme ürünü özel olarak tasarlanmış bir kurutma haznesinde sıcak gazla temas eder. Kurutucu besleme türü (viskozite), besleme ürününün aşındırıcı etkisi, besleme oranı, arzu edilen parçacık boyutu ve parçacık dağılımı ile paralel, karşıt ve karışık akım için kurutma haznesi ve akış türünün tasarlanması püskürtmeli kurutucunun çalışmasını etkilediğinden dolayı püskürtücünün uygun tasarlanması ve seçimi püskürtmeli kurutucu için çok önemlidir [2].

6) Ara dolaşımli kurutucular (bantlı kurutucular): Bu kurutucularda malzeme sürekli bir iletim bandı üzerinde kurutucu içinde hareket eder ve bu esnada arasından sıcak kurutma havası üflenir [1]. Bu tip kurutucular çok yönlüdür ve aynı zamanda hem ısıya duyarlı hem de kırılğan olan büyük miktardaki gelişigüzel şekilli yükleri taşıyabilir. Çok büyük ticari bant tipi kurutucuların tasarımında, bant üzerindeki ürünün düzgün bir şekilde dağılması ve ayrıca kurutucunun bulunduğu kurutma odasında ürünün dengeli bir neme sahip olması için havanın da eşit bir şekilde dağılması çok önemlidir.

7) Tünel kurutucular: Bu tip kurutucularda malzeme bir tünel içinde hareket eden kurutma vagonları içine uygun bir biçimde yerleştirilir. Bu esnada malzeme sıcak gazlarla temastadır [1]. Tünel kurutucularda vagonların tünel içerisinden geçirilmesi, ya devamlı veya kuruma işlemi tamamlanan bir vagon, tüneli terk ederken yeni yüklenmiş bir vagon tünele girecek şekilde düzenlenir. Tünel kurutucuda hava akımı paralel, zıt veya vagonların takip ettikleri yola dik yönde olabilir. Bu son sistem, kurutucunun muhtelif bölümleri için ayrı ısıtma üniteleri uygulanmasına imkan verir. Bu durumda hava, tünel içerisindeki vagonlar üzerinden geçirildikten sonra, bir ısıtıcıda ısıtılıp tekrar aynı kısımdaki vagonlara gönderilir.

Tünel kurutucular genellikle miktarları büyük olan, fakat yavaş yavaş kurumaları gereken tuğla, kiremit, seramik malzemeler, kereste ve diğer malzemeler için de kullanılır. Bu sistemle kereste kurutulması esnasında, kurutucunun sıcak kısmında kerestenin çok çabuk kurummasını önlemek için, havanın nemlendirilmesi lüzumlu olabilir. [2].

8) Akışkan yataklı kurutucular: Akışkanlaştırılmış yatakta tanecik yapısındaki maddeler arasından kurutma ortamı olarak gaz akımı geçirilir. Gaz hızı çok dikkatli ayarlanmalıdır. Toz veya taneli yapıdaki malzeme ile akışkanlaştırma gazı arasında temas çok iyi olduğundan, kurutma havası ve tanecikler arasında ısı transferi de etkin şekilde gerçekleşir. Bu mekanizma ile büyük sıcaklık farkları sakıncası olmaksızın malzemelerin kurutulması mümkündür. Otomatik yükleme ve boşaltmanın mümkün olduğu bu sistemin en önemli avantajı kurutma işleminin kısa sürede tamamlanmasıdır.

Akışkanlaştırılmış yatak kömür, kireçtaşı, şiş, fosfat, plastik ilaç tabletleri kurutulması için uygundur [1].

b) Kesikli kurutucular: Bu tip kurutucular belirli bir zaman aralığında belirli miktarda yaş ürünün kurutulması amaçlı tasarlanır. Kesikli kurutucularda nem miktarı ve sıcaklık koşulları kurutucunun herhangi bir noktasında sürekli olarak değişim gösterir.

1) Kesikli çalışan malzeme arasından sirkülasyonlu kurutucular: Malzeme elek yapılı tepsiler üzerindeyken sıcak hava üflenir [1].

2) Tepsi ve kabin tipi kurutucular: Cihaz esas itibariyle dikdörtgen şeklinde bir odadan ibaret olup, bu odanın duvarları uygun bir ısı yalıtım maddesi ile kaplanmıştır. Bu odaların içerisinde ya tepsilerin yerleştirildiği ve üzerlerinde kolayca kaydığı raflar vardır

veya tamamen boş olup, tepsiler vagonlar üzerindeki raflara yerleştirildikten sonra, bu odalara konular ve kurutucunun kapıları kapatılır. Havayı tepsiler üzerinde ve kurutucu içersinde dolaştıracak tedbirler alınmıştır. Bu tip kurutucularda havanın ısıtılması cihaz içersindeki ısıtıcılar tarafından yapılır ve dışarıdan sıcak hava alınmaz.

3) Akışkan yataklı kurutucular: Katı kurutulan maddeler bir sabit tank içinde akışkanlaştırılır. Akışkanlaştırma sıcak gaz akımı ile yapılabileceği gibi ısıtma serpantinleri de kullanılabilir.

2.1.2.2 . Özel kurutucular

1) İnfrared (kızılötesi) radyant ısılı kurutucular: Isıl ışınım, kızılötesi lambalar, buhar ısıtmalı kaynaklar ve elektrikle ısıtılmış yüzeyler tarafından sağlanır. Bu mekanizma ile malzemenin yüzeyine yakın bölgeleri ısındığından, ince levha yapısındaki malzemelerin kurutulması için uygundur. Isı transferi ısıl ışınım yayan malzemenin yapısı ve karakteristiği ile kurutulan maddenin özelliklerine bağlıdır ve ısıl verim düşük olabilir. Radyant ısıtma kağıt, tekstil gibi üzerinde motif desen içeren ürünlerin kurutulmasında kullanılır. Kurutulacak malzemenin yanabilir olması durumunda ise ürün ısı kaynağına yakın tutulmamalıdır [1].

2) Dielektrik ısıtıcılı kurutucular: Nemli malzeme yüksek frekanslı elektrostatik alana yerleştirilirse, malzeme içinde ısı üretilir. Nemli bölgelerde kuru bölgelere göre daha fazla ısı üretilir. Bu şekilde malzeme içinde nem profili otomatik olarak düzenlenir. Su, malzeme aşırı derecede ısıtılmaksızın buharlaşır [1]. Bu yöntem sadece kontrplak tabakaları arasındaki reçinenin polimerizasyonu ve bu suretle, tabakaların birbirlerine yapışması için önem taşır. Bu yöntem de tam bir kurutma operasyonu sayılamaz. Kurutma için de kullanılması düşünülebilir; fakat çok pahalıdır.

3) Morötesi radyasyon kurutma: Morötesi kurutmada elektromanyetik radyasyon kullanılır. Monomer yapılı kaplamalar ve boyar maddeler UV radyasyon etkisinde kurutularak işlenir. Morötesi kurutmanın uygulanmasında en büyük sorun yüksek yatırım maliyetidir.

4) Mikrodalga kurutma: Mikrodalga kurutmada çok yüksek frekanslı (900 ile 5000 Mhz) güç kaynağı kullanılır. İletken olmayan maddelerin ısıtılmasına uygulandığından bir dielektrik formu olarak nitelenenebilir. Mikrodalga kurutma şerit şeklindeki ince

malzemelere uygulanır. Sistem giriş ve çıkışında alınması gereken önlemler sürekli çalışmayı zorlaştırır. Sistemi çalıştırmak için gerekli emniyet önlemleri mikrodalga kurutmayı, dielektrik kurutmaya göre daha pahalı hale getirir.

2.1.2.3. İndirekt kurutucular

Kurutmada kullanılan ısı bir ara duvardan geçerek nemli malzemeye ulaşır. Buharlaşan sıvı ise ısıtma ortamından bağımsız olarak kurutma ortamından uzaklaştırılır. Kuruma hızı ıslak malzemenin sıcak yüzeyler ile temasına bağlıdır. İndirekt kurutucular ayrıca iletim (kondüksiyon) kurutucuları veya temaslı kurutucular olarak da isimlendirilir.

İletimle kurutma kağıt ürünlerinin kurutulması ve üretiminde yaygın olarak kullanılır. Ancak iletimle kurutmada, yüksek kuruma hızlarına ulaşamama, uniform olmayan ısı ve kütle transfer koşulları, kontrol problemleri, yüksek yatırım ve işletme maliyetleri gibi sorunlarla karşılaşabilir. Tüm bu olumsuzluklara karşın iletimle kurutmanın diğer kurutma sistemlerine dönüştürülmesi ilk yatırım, işletme ve bakım maliyetleri nedeniyle tercih edilmemektedir.

a) Sürekli kurutucular: Kurutma malzemesinin sürekli olarak kurutucu içinden geçmesi ve yüzeylerle teması ile gerçekleşir [1].

1) Silindirik kurutucular: Bu kurutucular devamlı bir tabaka halindeki kağıt ve tekstil gibi maddelerin kurutulmasında kullanılırlar. Bunlar pek çok sayıda buharla ısıtılan silindirlerden meydana gelmiş olup, kurutulacak madde bu silindirler üzerinden devamlı geçer.

2) Drum kurutucular: Bu kurutucularda ısıtma buhar veya sıcak su ile gerçekleştirilebilir.

3) Helezon ileticili kurutucular: Bu kurutucularda süreklilik olmasına karşılık, vakum altında çalışma ekonomik olmaktadır. Kurutmada kullanılan çözgenin geri kazanımı olanaklıdır.

4) Buhar borulu döner tip kurutucular: Buhar veya sıcak su kullanılabilir. Çalışma hayli düşük negatif basınçta ekonomiktir ve kurutmada çözgen geri kazanımı gerçekleştirilebilir.

5) Titreşimli–tepsili kurutucular: Bu kurutucularda ısıtma buhar veya sıcak su ile gerçekleştirilir.

6) Özel tipler sürekli: Kumaş kayış hareket ederek buharla ısıtılan levhalar üzerinden ısıyı alır. Malzeme ise kayış üzerinde bulunurken ısıyı temasla alır ve kurutulur.

b) Kesikli kurutucular: Kesikli indirekt kurutucular genellikle vakum altında çalışmaya iyi uyumludur. Bu tip kurutucular ayrıca karıştırmalı veya karışimsız olarak da sınıflandırılabilirler.

1) Karıştırmalı kaplı kurutucular: Bu kurutucular atmosferik veya vakum altında çalışmaya iyi uyumludur [1]. Devamlı çalışan döner bir kurutucuda kurutulamayacak kadar yapışkan olan, tepsi veya kompartıman tipi kurutucuda kurutulacak kadar değerli olmayan pek çok maddenin kurutulmasında, çok değişik tipleri bulunan ve mekanik olarak karıştırılan kurutucular kullanılmaktadır. Bu tip kurutucularda kurutucu içersinden hava geçirilmez. Kurutulması istenilen maddeden buharlaşan çözücü buharı, hava ile karışmadan kurutucu dışarısına alındığı için, bu bir buharlaştırma operasyonudur. Bununla beraber bu operasyondan maksat, katı bir madde topluluğu elde etmek ve çözücü miktarını azaltmak olduğu için, cihaz kurutucular arasında yer alır.

2) Dondurmalı kurutucular: Dondurarak kurutma farmakolojik ürünler, serumlar, bakteri kültürleri, meyve suları, sebze, kahve ve çay özlerinin eldesinde, et ve süt üretiminde uygulanabilir. Malzeme önce dondurulur. Ardından kimyasal nem alıcı veya düşük sıcaklık yoğunlaştırıcusu ile bağlantılı yüksek vakum uygulanan hacme alınır. Dondurulan malzemeye iletim veya kızılötesi radyasyon ile ısı geçişi sağlanır. Bu esnada uçucu element genellikle su süblimleşir ve yoğunlaşır, ya da nem alıcı madde tarafından absorplanır. Dondurarak kurutma genellikle $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında uygulanır. Dondurarak kurutma pahalı ve yavaş yürüyen bir işlemdir, ısıya duyarlı malzemeler için uygundur [1].

3) Vakumlu döner kurutucular: Atmosfer basıncı altında kaynama sıcaklığına kadar ısıtılmaları sakıncalı olan, hassas maddelerin kurutulması için vakum altında çalışan tek silindirli bir kurutucu kullanılabilir. Tek bir kurutma silindiri olup, dökme demirden yapılmış geniş bir kaplama ile sarılmış ve bu kaplamanın atmosfer basıncı altında şekil değiştirmemesi için, demir kuşaklar konulmuştur.

4) Vakumlu tepsi kurutucular: Pek çok durumlarda maddenin, atmosfer basıncı altında suyun buharlaşacağı sıcaklıktan daha düşük sıcaklıkta ve kısa zamanda kurutulması istenebilir. Böyle bir durumda vakum altında çalışan raflı bir kurutucu kullanılır. Genellikle kesiti dikdörtgen şeklinde olan ve dökme demirden yapılmış bulunan bir odacık olup, bu odacık içersinde raflar bulunmaktadır. Rafların içleri boş olup, çalışma esnasında bu boşluklar sıcak su veya buharla doldurulurlar.

Kurutulması istenilen madde raflardaki tepsilerin üzerine serilir. Kurutucunun kapısı kapatıldıktan sonra, bir vakum pompası yardımı ile kurutucu içersinde vakum temin edilir. Raflara verilen su buharı, tepsilerdeki maddeyi yavaş yavaş ısıtır ve kurutucu içersindeki basınç altında suyun buharlaşabileceği bir sıcaklığa yükseltir. Buharlaşan su, kurutucu ile vakum pompası arasında yer alacak bir yoğuşturucuda yoğunlaştırılır.

Bu kurutucular özellikle (a) kurutulacak maddenin tepsilere yükleme ve boşaltma işi oldukça az olan pahalı maddeler ve (b) aynı kurutucuda zaman zaman çok değişik yapılış ve karakterde maddelerin kurutulması zorunluluğu olduğu haller için uygundur. Kullanış alanı geniş olan bu kurutucular atmosferik tipe oranla çok daha pahalıdır.

Bölüm II

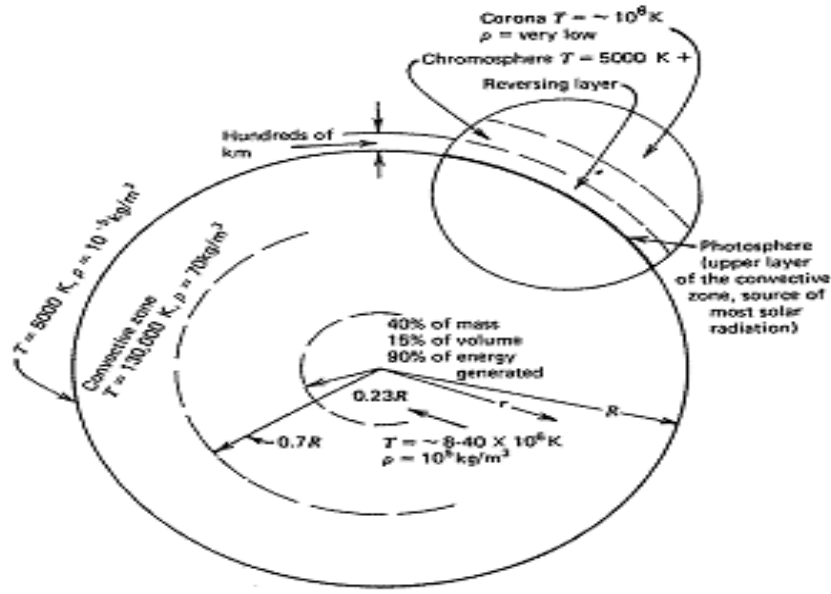
GÜNEŞ ENERJİSİ İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR

3. GÜNEŞ IŞINIMI ve EĞİK YÜZEYDE TOPLANABİLECEK IŞINIM MİKTARI

3.1. Güneş

Güneş çok yoğun ve çok sıcak gazlardan meydana gelmiştir. Yer küreden ortalama $1,5 \times 10^{11}$ m uzaklıkta olan güneşin çapı $1,39 \times 10^9$ m'dir. Sıcaklığın 8-40x10⁶K arası değerler aldığı, yoğunluğun 10^5 kg/m³ olduğu, güneşin merkezi ile 0,23r (r: güneşin yarıçapı) arasındaki bölgede enerjinin % 90'ı üretilir, toplam kütesinin % 40'ı bulunur. Merkezden 0,7r uzaklıktaki bölgede yoğunluk 70 kg/m³, sıcaklık 130000K değerine düşer. 0,7r ile 1,0r arasındaki konvektif bölgede yoğunluk 10^{-5} kg/m³, sıcaklık 5000 K düzeyindedir. Güneş radyasyonunun asıl kaynağını oluşturan fotosfer tabakası konvektif bölgenin dış kabuğudur. Bu tabakanın üzerinde yüzlerce kilometre kalınlığındaki inversiyon tabakası bulunur. Bu tabakanın dışında kromosfer tabakası yer alır. Kromosfer tabakasının kalınlığı yaklaşık 10000km'dir. En dışta 10^6 K sıcaklıkta ve düşük yoğunluktaki corona tabakası bulunur.[8]

Şekil 3.1 Güneş Katmanları[8]



3.2. Temel Tanımlar

Dünyanın kendi eksenini etrafında 24 saatte ve güneşin etrafında 365,2564 günde tamamladığı iki hareketi bulunmaktadır. Dünyanın dönüş eksenini ile güneş etrafındaki yörünge düzleminin normalini arasında 23,45°'lik açı bulunmaktadır. Bu hareketler nedeniyle güneşin ve dünyanın birbirlerine göre konumları gün ve yıl içinde sürekli değişim gösterirler. Bu nedenle yeryüzüne ulaşan güneş ışınımı da gerek gün gerekse yıl içinde farklılık gösterir. Güneş ışınımının hesaplanmasında bu hareketlerin dikkate alınması gereklidir. Bu nedenle güneş ve dünyanın birbirlerine göre konumlarını belirlemek için bazı tanımlamalardan yararlanır. Ayrıca güneş enerjisi sistemlerinde alıcı yüzeye gelen güneş ışınımının hesaplanmasında, alıcı yüzey düzlemi ve güneş ışınlarının doğrultusu ile ilgili açılardan yararlanır. Bu kapsamda aşağıdaki temel tanımlamalar kullanılır:

Enlem açısı (ϕ): Gözlemcinin bulunduğu yeri, dünya merkezine birleştiren doğrunun dünyanın ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır. Kuzey yarıkürede pozitif, güney yarıkürede negatif değer alır. Enlem açısı -90° ile $+90^\circ$ arasında değerler alır.

Saat açısı (ω): Gözlemcinin bulunduğu yerin boylamı ile güneşi dünya merkezine birleştiren doğrunun arasındaki açıdır. Saat açısının değeri güneş öğlesinde sıfırdır. Dünya'nın kendi eksenini etrafındaki hareketiyle bir saatlik zaman aralığı için 15° 'lik değişim gösterir. Öğleden önceleri (-), öğleden sonraları (+) işareti alınır.

Deklınasyon açısı (δ): Güneş öğlesinde, güneş ışınlarının ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır. Deklınasyon açısı, yıl boyunca $-23,45^\circ$ ile $+23,45^\circ$ arasında değişir. Deklınasyon açısı, aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

$$\delta = 23.45^\circ \sin \left(360 \frac{n+284}{365} \right) \quad (3.1)$$

Burada n, 1 Ocaktan itibaren gün sayısıdır.

Eğim açısı (β): İncelenen yüzeyin yatay ile yaptığı açıdır. Eğim açısı 0° ile 180° arasında değişir.

Yüzey azimut açısı (γ): Yüzey normalinin yatay düzlemdeki izdüşümü ile yerel meridyen arasındaki açıdır. Yüzey azimut açısı, güneye yönelik yüzeylerde sıfır, doğu yönü niçin negatif, batı yönü için pozitifdir.

Geliş açısı (θ): Yüzey normali ile yüzeye gelen direkt ışınım arasındaki açıdır. Direkt güneş ışınımının yüzeye geliş açısı (θ), aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır:

$$\cos \theta = \sin \delta \sin \varphi \cos \beta - \sin \delta \cos \varphi \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \varphi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \varphi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \quad (3.2)$$

Zenit açısı (θ_z): Direkt güneş ışınlarının yatay düzlemin normali ile yaptığı açıdır. Aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır:

$$\cos \theta_z = \cos \delta \cos \varphi \cos \omega + \sin \delta \sin \varphi \quad (3.3)$$

Güneş yükseklik açısı (γ): Direkt güneş ışınlarının yatay düzlemle yaptığı açıdır. Yükseklik açısı zenit açısını 90° ye tamamlar.

Güneş azimut açısı (γ_s): Direkt güneş ışınımının yatay düzlemdeki izdüşümünün güneyden sapmasıdır. Güneş azimut açısı güneyden batıya doğru (+), güneyden doğuya doğru (-) olarak değerlendirilir.

Güneş saat açısı (ω_s): Güneşin doğduğu ve battığı anlarda, yatay yüzeye direkt güneş ışınımı paralel olarak gelir. Bu anda zenit açısı (θ_z) 90° dir. Denklem $\theta_z=90^\circ$ için çözülrse güneş saat açısı elde edilir.

$$\cos \omega_s = -\frac{\sin \varphi \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta} = -\tan \varphi \tan \delta \quad (3.4)$$

Çıkan sonucun saat açısının saatlik değişim değeri olan 15°'ye bölünmesi ile elde edilen değer, güneşin o gün için güneş öğlesi olan 12.00 saatinden kaç saat önce doğduğunu gösterir.[8]

3.3. Atmosfer Dışına Gelen Güneş Işınımı

Yeryüzüne gelen güneş ışınımının hesaplanmasında, atmosfer dışındaki yatay ve eğik yüzeylere gelen ışınım değerlerinden yararlanılır. Bu nedenle atmosfer dışına gelen güneş ışınım değerinin bulunması önemlidir. Dünya-güneş mesafesi yıl boyunca değişim gösterdiğinden, atmosfer dışına gelen güneş ışınımı da değişim gösterir. Ancak ortalama dünya-güneş uzaklığında güneş, dünyadan 32 dakikalık hacımsal açı içinde görülür. Bu koşulda güneşten yayılan radyasyonun atmosfer dışına gelen yoğunluğu yaklaşık sabittir. Atmosfer dışında, ortalama dünya-güneş uzaklığında radyasyon doğrultusuna dik yüzeyin birim alanına, birim zamanda güneşten gelen enerjisi, güneş sabiti (G_{sc}) olarak isimlendirilir. Güneş sabitinin değeri son ölçümlerle 1367 W/m² olarak belirlenmiştir. Güneş radyasyonunun spektral dağılımı incelendiğinde dalga boyunun ve radyasyon şiddetinin geniş bir aralıkta değiştiği görülür. Ancak enerjinin tamamına yakın bir bölümü, dalga boyunun 0,3 ile 3, 0 µm değerleri arasında yer almaktadır.

Dünya-güneş uzaklığı yıl boyunca değişim gösterdiğinden atmosfer dışına gelen güneş ışınımı da değişmektedir. Işınımına dik bir yüzeye, yılın n'inci günü gelen atmosfer dışı ışınım

$$G_{on} = G_{sc} \left(1 + 0,0033 \cos\left(\frac{360 n}{365}\right)\right) \quad (3.5)$$

Meteoroloji istasyonlarında genellikle yatay yüzeye gelen saatlik veya günlük toplam güneş ışınım değerleri ölçülmektedir. Güneş enerjili sistemlerin tasarımında ise farklı eğim ve yönlendirilmesi olan yüzeylere gelen ışınım değerlerine gereksinim duyulur. Bu nedenle güneş enerjili sistemlerin üzerine gelen güneş ışınım değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Herhangi bir zamanda eğik yüzeye gelen direkt ışınımın yatay yüzeye gelen güneş ışınımına oranı, geometrik faktör (R_b) kullanılarak hesaplanır.

$$R_b = \frac{G_{bT}}{G_b} = \frac{G_b \cos \theta}{G_{bn} \cos \theta_z} = \frac{\theta}{\theta_z} \quad (3.6)$$

Güneş enerjisi uygulamalarında yüzey azimut açısı için optimum değer sıfırdır. Kuzey yarıkürede bulunan ve güneye yönlendirilmiş bir yüzey için geometrik faktör (R_b),

$$R_b = \frac{A_1}{A_2} \quad (3.7)$$

$$A_1 = \cos(\varphi - \beta) \cos\delta \cos\omega + \sin(\varphi - \beta) \sin\delta$$

$$A_2 = \cos\varphi \cos\delta \cos\omega + \sin\varphi \sin\delta$$

Eşitliğiyle hesaplanır.

3.4. Yer Yüzüne Gelen Güneş Işınımı

Atmosferi geçerek yeryüzüne ulaşan güneş ışınımını hesaplamak oldukça karmaşıktır. Atmosfere giren güneş ışınımının bir bölümü atmosferdeki gazlar, tozlar tarafından yutulur ve saçılır. Bir kısmı ise atmosfer tarafından yansıtılır. Geriye kalan bölümü ise yeryüzüne ulaşır. Yeryüzüne gelen güneş ışınımı ise atmosfer dışına gelenin % 10'u ile % 80'i arasında değişir. Doğrultusu değişmeden yeryüzüne ulaşan güneş ışınımı direkt güneş ışınımı, saçılanlardan yeryüzüne ulaşan ise yayılı güneş ışınımı olarak isimlendirilir. Direkt ve yayılı güneş ışınimleri kısa dalga boylu (0,3 – 3,0 μm) karakterdedirler. Yeryüzüne ulaşan güneş ışınımı yeryüzü tarafından uzun dalga boylu karakterde yansıtılır. Atmosfer dışına gelen güneş ışınımının ne kadar bir bölümünün dünya yüzeyine ulaşacağını hesaplamak için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Güneş ışınlarının atmosferden geçişte izlediği yolun uzunluğu, atmosferin ışınımı azaltması hesaplama yöntemlerinde dikkate alınmalıdır. Atmosferden geçişte izlenen yol uzadıkça, yeryüzüne ulaşan güneş ışınımı yukarıda anlatılan nedenlerden dolayı aynı oranda azalır. Direkt güneş ışınımının herhangi bir zamanda atmosferde geçişte izlediği optik kalınlığın, güneş zenit noktasında olduğu anda atmosferden geçişte izlenen optik kalınlığa oranına hava kütlesi (m) adı verilir. Güneş zenitte olduğunda ve deniz seviyesinde hava kütlesinin değeri 1'e eşittir. Deniz seviyesinde, zenit açısının 0 ile 70 arasındaki değerleri için hava kütlesi aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

Ortalama Güneş Işınımının Hesaplanması

Güneş ışıını verileri, ortalama anlık ışıını kestirilmesinde kullanılabilir temel kaynaktır. Herhangi bir bölge için yapılacak hesaplamalarda bu verilerin elde olmaması durumunda çeşitli modellerden yararlanılarak iklimsel faktörlere bağı olarak yatay yüzeye ulaşabilecek ışıının ne kadarının yatay yüzeye ulaştığı tahmin edilebilir.

Kullanılabilir yöntemlerde biri de **Angström Modeli**'dir.[9]

$$\frac{H}{H_o} = a + b \frac{n_s}{N} \quad (3.8)$$

Burada

H : Yatay yüzeye ulaşabilen günlük ortalama ışıını miktarı [MJ/m²]

H_o : Yatay yüzeye gelen günlük ışıını miktarı [MJ/m²]

a,b : model sabitleri

n_s : Bulutsuz güneşlenme gerçekleşen saatlerin gün bazında aylık ortalaması

N : Gün doğumundan gün batımına güneşlenme saatleridir.

H_o ve N;

$$H_o = \frac{24 \times 3600 G_{sc}}{\pi} \left(1 + 0,0033 \cos \frac{360 n}{365}\right) \times \left(\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi \omega_s}{180} \sin \phi \sin \delta\right) \quad (3.9)$$

$$N = \frac{2}{15} \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta) \text{ formülleriyle hesaplanır.} \quad (3.10)$$

Table 4.4 Statistical characteristics

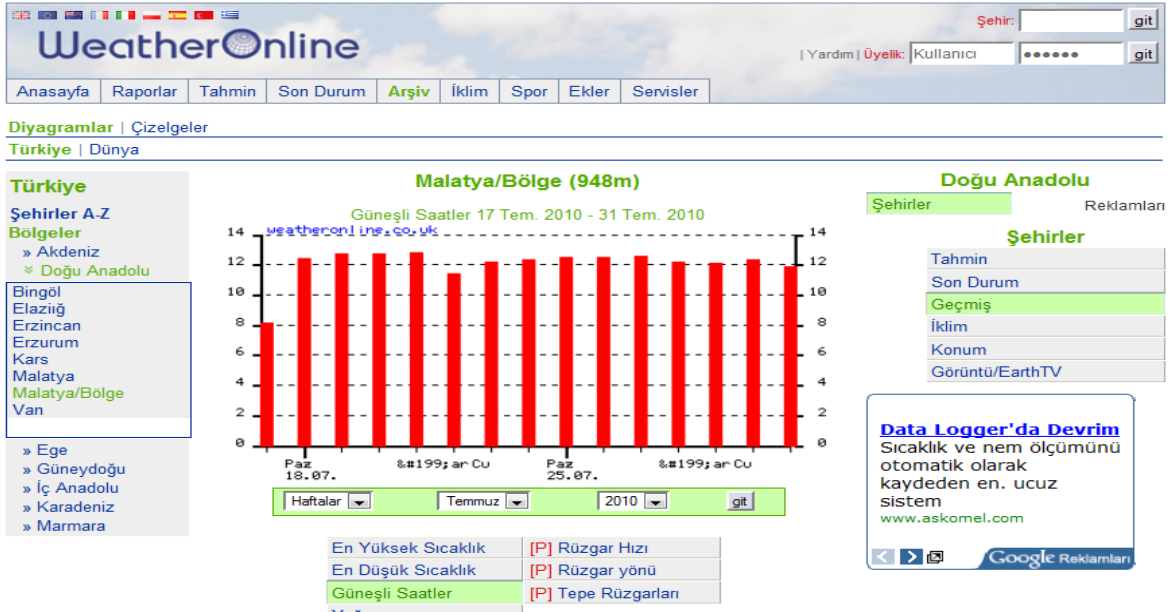
Station name	AM		SS Mode		SD		Relative error (%)	
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a'</i>	<i>b'</i>	<i>a'</i>	<i>b'</i>	<i>a, a'</i>	<i>b, b'</i>
Adana	0.33	0.29	0.31	0.31	1.27	1.75	6.05	8.42
Adiyaman	0.30	0.22	0.27	0.26	0.80	1.10	9.93	17.90
Afyon	0.40	0.28	0.34	0.29	0.78	1.95	15.20	5.78
Amasya	0.30	0.38	0.27	0.37	2.44	6.79	8.72	3.92
Anamur	0.36	0.25	0.29	0.35	1.51	2.04	21.40	28.90
Ankara	0.31	0.32	0.30	0.48	3.03	6.09	4.74	32.00
Antalya	0.33	0.38	0.33	0.32	1.98	2.78	0.60	16.20
Aydin	0.32	0.42	0.33	0.42	1.88	3.38	4.50	0.95
Balikesir	0.23	0.37	0.22	0.34	1.39	3.98	0.88	6.28
Bursa	0.27	0.33	0.24	0.35	1.25	3.09	9.62	4.03
Çanakkale	0.31	0.33	0.31	0.45	3.81	4.58	2.50	27.70
Çankiri	0.35	0.32	0.11	0.25	5.92	8.86	57.30	21.60
Diyarbakir	0.23	0.48	0.43	0.42	2.09	3.06	45.00	12.73
Elazig	0.32	0.32	0.24	0.40	1.74	2.46	25.40	18.38
Erzincan	0.44	0.15	0.40	0.25	0.83	2.42	9.15	38.05
Eskişehir	0.39	0.26	0.34	0.43	0.74	1.56	13.81	39.60
Istanbul	0.30	0.35	0.28	0.55	0.90	3.34	5.08	35.50
Isparta	0.36	0.16	0.28	0.16	0.58	1.03	21.32	0.00
İzmir	0.33	0.33	0.32	0.42	1.16	1.71	1.80	22.00
Kars	0.50	0.12	0.74	0.41	1.32	2.22	33.30	70.00
Kastamonu	0.32	0.24	0.19	0.31	0.70	2.04	41.17	21.20
Kayseri	0.36	0.23	0.31	0.30	2.87	4.02	13.73	24.10
Kirsehir	0.43	0.20	0.18	0.25	1.31	2.15	57.30	21.81
Konya	0.38	0.27	0.31	0.39	1.79	3.80	20.00	32.20
Malatya	0.31	0.37	0.24	0.47	2.04	0.47	23.45	21.80
Mersin	0.33	0.40	0.27	0.48	0.87	1.25	18.60	17.30
Samsun	0.34	0.31	0.22	0.40	2.78	8.23	33.70	22.40
Trabzon	0.28	0.38	0.26	0.46	8.82	23.69	8.27	17.86
Van	0.51	0.14	0.40	0.23	34.07	41.92	21.76	38.60

Şekil 3.2 Angström Modeli İçin katsayılar [9]

Angström Modeli (AM) kullanılarak kurutmanın gerçekleştirilmesi planlanan üretim yeri Malatya için Şekil 3.2'deki *a, b* değeri okunur. ($a=0,31$ $b=0,37$)[9]

Temmuz ayının ikinci haftası için $N=14,7$ olarak hesaplanır. (15 temmuz için)

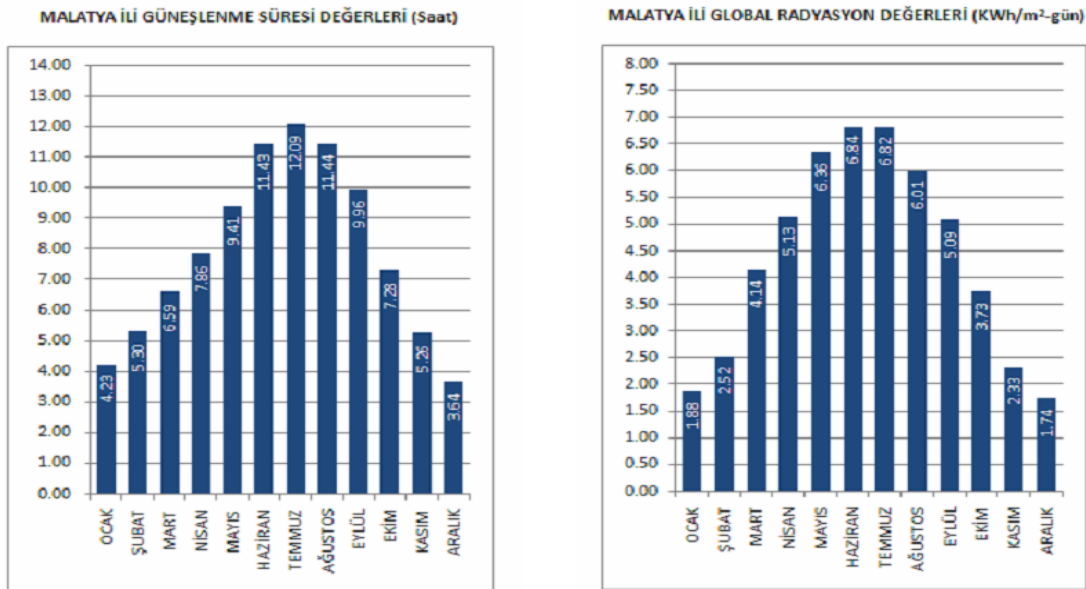
n_s için ise Şekil 3.3'deki meteorolojik verilerden yararlanılır.



Şekil 3.3 Malatya ili Güneşli Saatler[10]

Kurutmanın planlandığı tarihte bulutsuz güneşlenme gerçekleşen saatlerin gün bazında aylık ortalaması $n_s=12$ olarak alınabilir.(2007 verileri)

Yapılan hesaplamalar sonucunda yatay yüzeye ulaşabilen günlük ortalama ışınım miktarı kurutma periyodu için $H=6,8\text{kW/m}^2$ gün olarak hesaplanır.



Şekil 3.4 Malatya ili Global Radyasyon Değerleri[11]

3.4.1. Aydınlık ve bulutlu günler ve saatlerin dağılımı

Değişik ışınım değerlerinin çeşitli periyotlar boyunca dağılımı iki değişik bağlamda hesaplanır. İlk hesaplama değeri günlük difüz ışınımın günlük ışınımına frekans dağılımıdır. Diğer bir değer de aylık ortalama difüz ışınım değerinin aylık ışınım değerine frekans dağılımıdır. Bu noktada saatlik ($k_t = \frac{I}{I_0}$) ve günlük ($K_t = \frac{H}{H_0}$) açıklık endeksinden bahsetmek yerinde olur.[8]

I_0 : Yatay yüzeye ulaşabilen saatlik toplam güneş ışınımı (MJ/m^2)

I : Yatay yüzeye gelen saatlik toplam güneş ışınımı (MJ/m^2)

Bu endekslerden saatlik açıklık endeksi güneş ışınımının direkt ve yayılı bileşenlerinin hesaplanması amacıyla kullanılacaktır.

3.4.2. Saatlik Güneş Işınımının Direkt Ve Yayılı Bileşenleri

Saatlik toplam ışınımın direkt ve yayılı bileşenlerinin hesaplanmasıyla ilgili yaklaşımlardan biri Orgill ve Hollands tarafından geliştirilmiştir. Bu yaklaşımda saatlik açıklık göstergesinden yararlanılmıştır.[8]

$$I_d / I = 1,0 - 0,249 k_T \quad k_T < 0,35 \quad (3.11)$$

$$I_d / I = 1,557 - 1,84 k_T \quad 0,35 < k_T < 0,75 \quad (3.12)$$

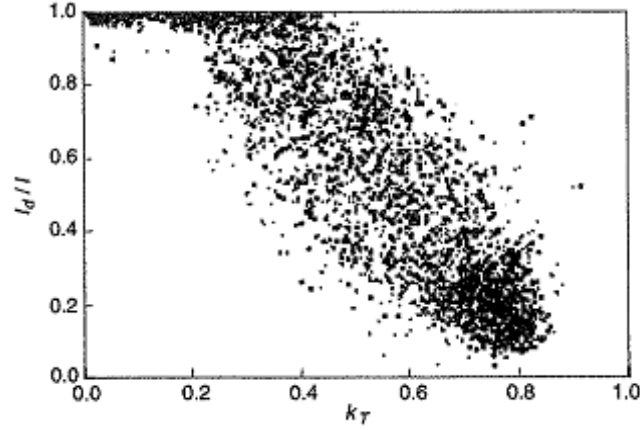
$$I_d / I = 0,177 \quad k_T > 0,75 \quad (3.13)$$

Erbs ve çalışma arkadaşları tarafından geliştirilen diğer bir yaklaşımda saatlik açıklık göstergesinden yararlanılmıştır:

$$I_d / I = 1,0 - 0,09 k_T \quad k_T \leq 0,22 \quad (3.14)$$

$$I_d / I = 0,9511 - 0,1604 k_T + 4,388 k_T^2 - 16,638 k_T^3 + 12,336 k_T^4 \quad 0,22 < k_T \leq 0,80 \quad (3.15)$$

$$I_d / I = 0,165 \quad k_T > 0,80 \quad (3.16)$$



Şekil 3.5 Cape Canaveral’da Reindl(1988) Tarafından Ölçülen Difüz Işımım oranı-Açıklık Endeksi Değerleri[8]

3.4.2.1 Eğik yüzeylere gelen toplam güneş ışınımı

Lui ve Jordan eğik yüzeye gelen ışınımın direkt, yayılı ve yerden yansıyan olmak üzere üç bileşenden olduğunu ifade etmişler, gökyüzünü izotropik kabul edip hesaplama önermişlerdir. Önerdikleri modele göre eğik bir yüzeye bir saatlik zaman aralığında gelen toplam güneş ışınımı:

$$I_T = I_b R_b + I_d [(1 + \cos \beta) / 2] + \rho (I_b + I_d) [(1 - \cos \beta) / 2] \quad (3.17)$$

Diğer taraftan eğik yüzeye ulaşan ışınımın bir bölümü gökyüzünden yansıyor gelirken, buna ilave olarak bir kısım ışınım da yeryüzünden yansıyor eğik yüzeye ulaşır. Daha hassas sonuçların elde edilmesi için bu ışınımın da hesaba katılması lazımdır. Tez çalışmamda bu terimleri göze alarak toplam ışınımı hesaplayan **HDKR modeli**(Hay,Davies,Klucher,Reindl modeli) ile hesaplamaları gerçekleştirdim.[8]

$$I_T = (I_b + I_d A_i) R_b + I_d (1 - A_i) \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) \left[1 + f \sin^3 \left(\frac{\beta}{2} \right) \right] + I \rho_g \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (3.18)$$

$$f = \sqrt{\frac{I_b}{I}} \quad (3.19)$$

$$A_i = \frac{I_b}{I_0} \quad (3.20)$$

I_b : Eğik yüzeye gelen saatlik direkt ısınmı (MJ/m²)

I_d : Eğik yüzeye gelen saatlik difüz ısınmı (MJ/m²)

I_t : Eğik yüzeye gelen toplam saatlik ısıtım (MJ/m²)

A_i : Anizotropi endeksi

ρ_g : Yüzey yansıtma katsayısı

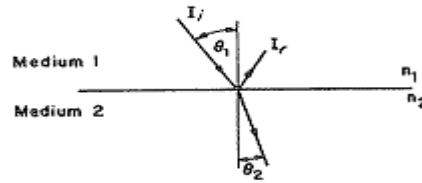
Öncelikle kollektöre gelen toplam ışıyım değerlerinin ne kadarının yansiyıp, iletilip, yutulacağının hesaplanması gereklidir.

3.4.2.2. Eğik Yüzeye Gelen Güneş Işıyımını İçin Yutma, Yansıtma, İletme katsayılarını hesaplanması:

Güneş enerjisi genellikle eğimli yüzeyler yardımıyla toplanmaktadır. Eğik yüzeye gelen güneş ışıyımını deneysel amaçlar dışında doğrudan ölçülmemektedir. Eğik düzleme gelen güneş ışıyımını, yatay düzleme gelen ölçüm değerlerinden veya çeşitli modellerden elde edilen değerlerden yararlanarak tespit edilmektedir. Güneş enerjisi sistemlerinin tasarımı ve ısı analizini doğrudan mevcut verilere dayandığından, güneş enerjisi verilerinin doğru, uygun ve kullanışlı olması gerekir.

Snell's kanununa göre;

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} \quad (3.21)$$



Şekil 3.6 Farklı Kırılma İndisi Değerlerine Sahip Ortamlarda Işıyımın Davranışı

Burada $\theta_1 = \theta'$ dir. Tasarım sürecinde geliş açısı(θ) mümkün mertebe en küçük olacak şekilde ayarlanarak ışıyımdan maksimum verim elde edilmesi amaçlanmıştır. Tasarımda optimum $\theta = 2,36^\circ$ dir.

Burada $n = \frac{n_1}{n_2}$ Kırılma indisi olarak adlandırılır. Hava ile kolektör yapımında kullanılan düşük demir içerkli beyaz cam ortamlarında ışık kırılma indisi $n = 1,526$ değerini alır.

$$\text{Optik uzunluk: } \frac{K_k L_{cam}}{\cos\theta_2} \quad (3.22)$$

$$K_k \quad : \text{Kırılma katsayısı} = 4m-1 \quad (3.23)$$

$$L_{cam} \quad : \text{Cam tabaka kalınlığı} = 0,0032 \text{ m} \quad (3.24)$$

$$\tau_a = e^{\frac{KL}{\cos\theta_2}} \quad (3.25)$$

$$r_{\perp} = \frac{\sin^2(\theta_2 - \theta_1)}{\sin_2(\theta_2 + \theta_1)} \quad (3.26)$$

$$r_{\parallel} = \frac{\tan^2(\theta_2 - \theta_1)}{\tan^2(\theta_2 + \theta_1)} \quad (3.27)$$

$$\tau = \tau_{\parallel} + \tau_{\perp} = \frac{\tau_a}{2} \left[\left(\frac{1-r_{\parallel}}{1+r_{\parallel}} \right) \left(\frac{1-r_{\parallel}}{1-(r_{\parallel}\tau_a)^2} \right) + \left(\frac{1-r_{\perp}}{1+r_{\perp}} \right) \left(\frac{1-r_{\perp}}{1-(r_{\perp}\tau_a)^2} \right) \right] \quad (3.28)$$

$$\rho = \frac{1}{2} [r_{\parallel}(1 + \tau_a\tau_{\parallel}) + r_{\perp}(1 + \tau_a\tau_{\perp})] \quad (3.29)$$

$$\alpha = \left(\frac{1-\tau_a}{2} \right) \left[\left(\frac{1-r_{\parallel}}{1-r_{\parallel}\tau_a} \right) + \left(\frac{1-r_{\perp}}{1-r_{\perp}\tau_a} \right) \right] \quad (3.30)$$

Optik uzunluk	$\frac{KL}{\cos\theta_2}$	0,012805
Optik geçirgenlik	τ_a	0,987277
Geçirgenlik (dik bileşen)	$r_{\perp} =$	0,917423
Geçirgenlik(normal bileşen)	$r_{\parallel} =$	0,917777
Geçirgenlik Katsayısı	$\tau =$	0,905925
Yansıtma Katsayısı	$\rho =$	0,012723
Yutma Katsayısı	$\alpha =$	0,069677

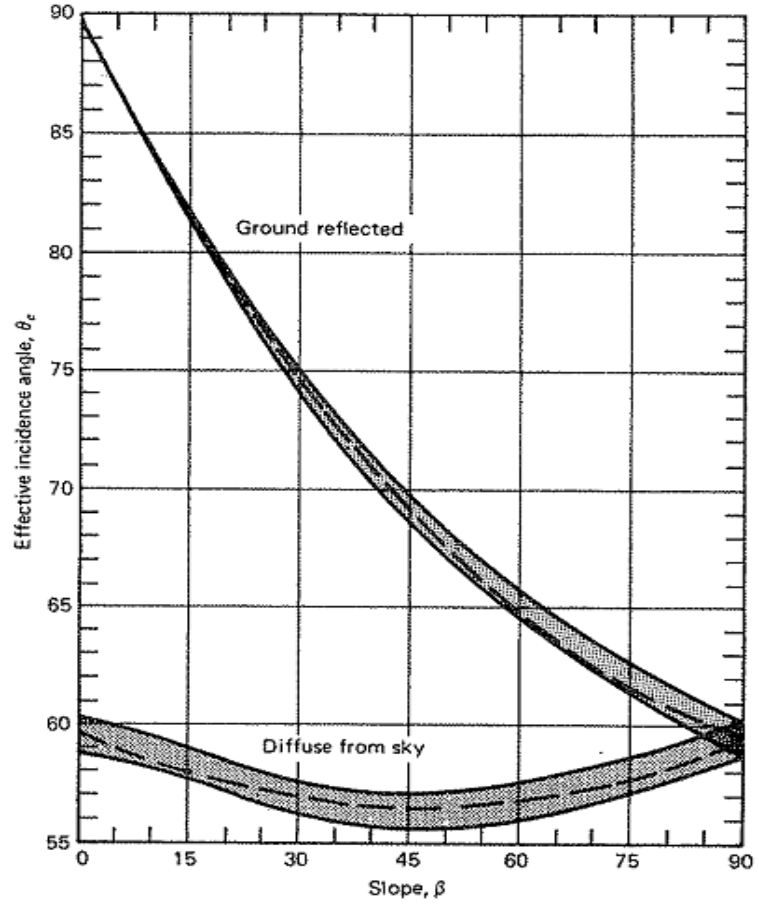
Tablo 3.1 İletme, Yansıtma, Yutma Katsayıları

Diğer taraftan difüz ışınım için bir geçirgenlik hesabı yapılması gerekir.

3.4.2.3. Difüz Işınım için geçirgenliğin hesaplanması:

Literatür çalışmaları incelendiğinde difüz ışınım için geçirgenliğin hesaplanmasında, direkt ışınım ile aynı geçirgenliği sağlayacak bir denklik açısının tanımlanmasının hedeflendiği görülür.

Güneş kolektörleri genellikle hem gökyüzünden yansıyan hem de yeryüzünden yansıyıp gelen ışınımı görece şekilde konumlandırılır. Brandemuehler ve Beckman(1980) yaptıkları çalışmalarda **efektif geliş açısı(θ_e)** olarak adlandırdıkları bu denklik açısını hesaplamışlardır. N=1,526 için buldukları sonuçlar aşağıdaki **Şekil 3.7**'de görülmektedir.[8]



Şekil 3.7 Eğim Açısına Karşılık Gelen Efektif Geliş Açısı Değerleri[8]

Tasarım için eğim açısı $\beta=20^\circ$ belirlenmişti. $\theta_{e,d} = 57^\circ$ $\theta_{e,\xi} = 77^\circ$ değerleri grafikten okunur.

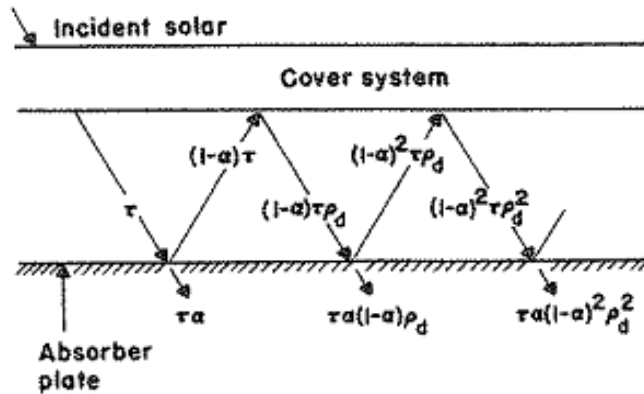
Absorbe Edilen Işınım Miktarı

Eğik yüzeye gelen toplam ışınımın bir kısmı da yerden ve gökyüzünden gelen difüz ışınımlardan oluşur. Bu ışınımları **HDKR modelinde** göz önünde bulundurursak kolektör tarafında absorbe edilebilecek ışınım miktarını tam olarak hesaplayabiliriz.

$$S = (I_b + I_d A_i) R_b (\tau\alpha)_b + I_d (1 - A_i) (\tau\alpha)_d \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} \right) \left[1 + f \sin^3 \left(\frac{\beta}{2} \right) \right] + I \rho_g (\tau\alpha)_g \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right) \quad (3.31)$$

Bu denklemde $(\tau\alpha)$ terimi ve difüz, direkt ve yeri simgeleyen üç alt indis karşımıza çıkar.

Geçirgenlik-Yutma Çarpımı $(\tau\alpha)$



Şekil 3.8 Geçirgenlik-Yutma Çarpımı

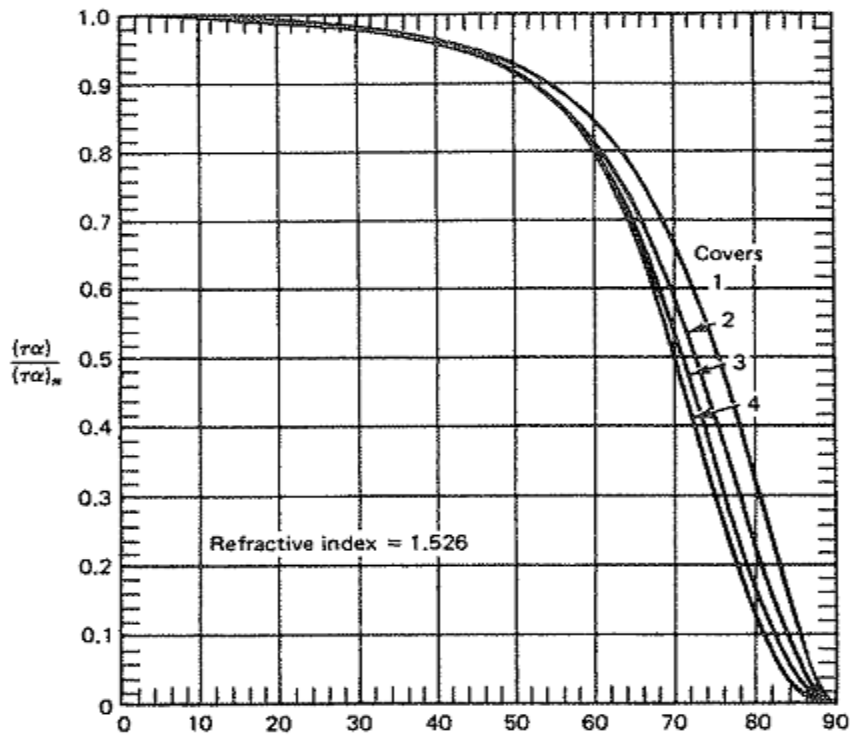
Yukarıdaki grafikte de görülebileceği gibi gelen ışınımın τ kadar bir kısmı cam tabakayı geçtikten sonra emici yüzeye ulaşır; ulaşan ışınımın $(1-\alpha)\tau$ kadar kısmı geri yansır. Emici yüzeyden cam tabakaya tekrar ulaşan ışınımın $(1-\alpha)\tau\rho_d$ kısmı da tekrar cam tabakaya yansır. ρ_d cam tabakanın yansıtma katsayısıdır.

$$(\tau\alpha) = \tau\alpha \sum_{n=0}^{\infty} [1 - \alpha)\rho_d]^n = \frac{\tau\alpha}{1 - (1-\alpha)\rho_d} \quad (3.32)$$

			$\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n}$
α	Emici plaka	0,95	
ρ_d	Cam tabaka yansıtma katsayısı	0,05	
$(\tau\alpha)$	Geçirgenlik-Yutma Çarpımı	0,862786	
$(\tau\alpha)_b$	Direkt Işınım Geçirgenlik-Yutma Çarpımı	0,862786	
$(\tau\alpha)_d$	Difüz Işınım Geçirgenlik-Yutma Çarpımı	0,750624	0,87
$(\tau\alpha)_g$	Yer Işınımı Geçirgenlik-Yutma Çarpımı	0,517672	0,6

Tablo 3.2 Işınım Çeşitleri için Geçirgenlik-Yutma Çarpımı

Geçirgenlik-yutma çarpımının hesaplanmasında açısal etki de söz konusudur. Klein(1979) efektif geliş açısına bağlı olarak $n=1,526$ için $\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n}$ ilişkisini incelemiş ve deneysel verileri yayınlamıştır.



Şekil 3.9 Efektif Geliş Açısına - $\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n}$ İlişkisi

	β (Eğim açısı)	40°	30°	20°
Çalışma Saati	Güneş Saati	Toplam Işınım Miktarı (kW/m ²)		
	7	0,151471	0,19402	0,233726092
1	8	0,333183	0,366192	0,395974043
2	9	0,465416	0,490551	0,513882442
3	10	0,550627	0,571431	0,591189637
4	11	0,594023	0,612566	0,630357096
5	12	0,597787	0,615353	0,632248494
6	13	0,563421	0,581009	0,597883115
7	14	0,49285	0,511472	0,52915706
8	15	0,388256	0,409224	0,428687461
9	16	0,252087	0,277061	0,299594342
10	17	0,097122	0,124403	0,149862722
	Toplam=	4,486243	4,753283	5,002562504
	ort	0,438912	0,462888	0,539922418
		0,47085	0,492762	0,513219299

Tablo 3.3 Saatlik Toplam Işınım Değerleri

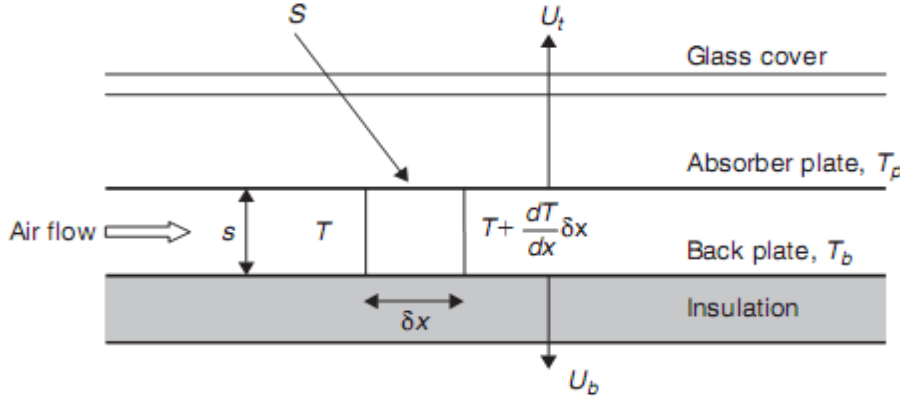
Hesaplamalar sonunda elde edilen veriler Tablo 3.3’de verilmiştir. Formüllerde değerler MJ/m² biriminden çıkmakla birlikte ilerde akışkan hesaplarında kolaylık sağlaması açısından tablo verileri 1 kWh=3,6 MJ eşitliğiyle yayınlanmıştır. Kurutmanın gerçekleştirileceği tarih ve enlemde optimum eğim açısı 20° olarak bulunmuş, tararımda havalı kolektörler bu açı ile yerleştirilmiştir.

Bölüm III

Bölüm III

KURUTUCU SİSTEMİN TASARIM ESASLARI

4. HAVALI GÜNEŞ KOLEKTÖRÜ TASARIM HESAPLARI

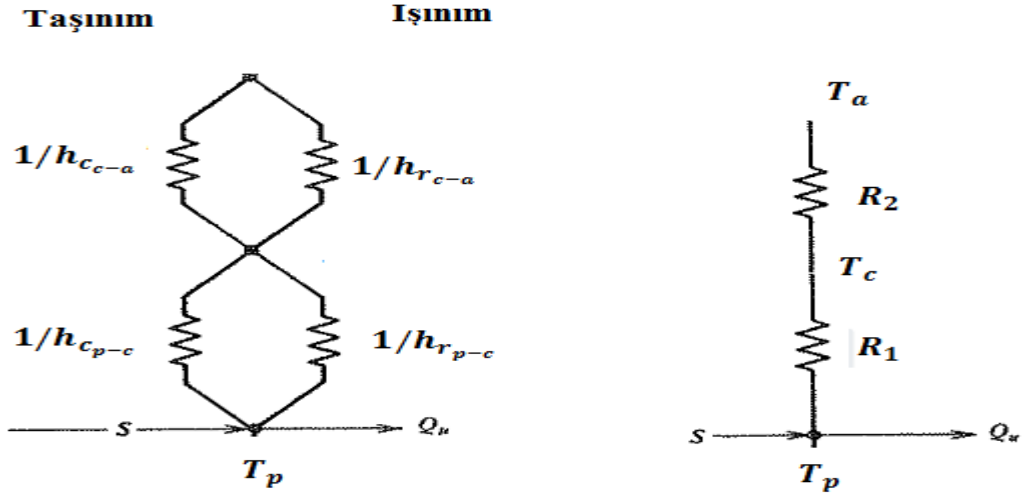


Şekil 4.1 Havalı Güneş Kolektörünün Şematik Gösterimi[9]

Hava güneş kolektörünün emici plakasına gelen ışınım miktarı(S) bulunmuştur. Tasarlanan kolektörün şematik gösterimi yukarıdaki şekilde verilmiştir. Hesaplamalara U_t 'nın hesaplanmasıyla başlanılır.[12]

U_t : Camın üzerindeki yüzey için toplam ısı taşınım katsayısı (W/m²K)

Hesaplama için elektrik devresi benzeşim metodu kullanılabilir. $U_t = \frac{1}{R_1 + R_2}$ (4.1)



Şekil 4.2 Üst Yüzey Isı Transfer Mekanizmalarının Gösteriminde Elektrik Devresi
Benzeşim Metodu

T_p : Emici plaka sıcaklığı

T_a : Ortam sıcaklığı

T_c : Koruyucu cam sıcaklığı

4.1 Koruyucu Camın üzerindeki yüzey için toplam ısı taşınım katsayısının hesaplanması

4.1.1 Paralel tabakalar arası doğal taşınım ($h_{c_{p-c}}$) katsayısının hesaplanması

Emici plaka ile koruyucu cam arasında durağan hava vardır. Bu iki ortam arasında ısı transferi doğal taşınım ile gerçekleşir. Öncelikle doğal taşınım hesabında kullanılacak temel kavramlardan bahsedilmelidir.

$$Nu = \frac{hL}{k} \quad (4.2)$$

$$Ra = \frac{g\beta' \Delta T L^3}{\nu\alpha} \quad (4.3)$$

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad (4.4)$$

Nu : Nusselt sayısı

Ra : Rayleigh sayısı

Pr : Prandtl sayısı

h : Isı transferi katsayısı

L_b : Tabakalar arası boşluk [m]

k_{pp} : Durağan hava ısıl iletkenlik katsayısı [$\frac{W}{m K}$]

g : Yerçekimi sabiti [$\frac{m}{s^2}$]

β' : Volumetrik genişleme katsayısı

ν : Kinematik viskozite

$$\alpha = \frac{k}{\rho c_p} \quad (4.5)$$

Hollands(1976) hava için yaptığı deneysel çalışmaların sonucunda 0° - 75° arasındaki eğim açıları(β) için Rayleigh sayısı ile Nusselt sayısı arasında aşağıdaki bağıntının kullanılmasını önermiştir.

$$Nu = 1 + 1,44 \left[1 - \frac{1708 (\sin \beta)^{1,6}}{Ra \cos \beta} \right] \left[1 - \frac{1708}{Ra \cos \beta} \right]^+ + \left[\left(\frac{Ra \cos \beta}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right]^+ \quad (4.6)$$

Burada parantez üzerindeki (+) işareti, parantez içerisindeki değerin pozitif olması durumunda hesaplama alınacağını negatif olması durumunda ise parantez değeri yerine sıfır yazılarak hesaplamalara devam edilmesi gerektiğini gösterir bir semboldür.

4.1.2 Paralel yakın tabalara arasından ışıınım katsayısının ($h_{r_{p-c}}$)

hesaplanması

$$T_c \text{ ile } T_p \text{ sıcaklığı birbirine yakın değerlerde ise } T^{\wedge 3} = \frac{1}{4} (T_c^2 + T_p^2) (T_c + T_p)$$

olarak tanımlanır ve

$$h_{r_{p-c}} = \frac{\sigma x 4 x T^{\wedge (^3)}}{1/\epsilon_p + 1/\epsilon_c - 1} \quad (4.7)$$

ϵ_p : Emici plakanın yayma katsayısı = 0,04

ϵ_c : Koruyucu camın yayma katsayısı = 0,84

4.1.3 Koruyucu cam dış yüzeyinden gökyüzüne ışıınım katsayısının ($h_{r_{c-2}}$)

hesaplanması

Küçük dışbükey bir A_1 yüzeyi için(ele alın an durumda cam plaka), yüzeyin tamamını görebilecek çok çok büyük bir içbükey A_2 yüzey arasında(gökyüzü) görüş faktörü $F_{1-2} = 1$ olarak hesaplama yapılabilir ve

$$Q_{1-2} = A_1 \epsilon_c \sigma (T_c^4 - T_{sky}^4) \text{ olduğundan}$$

$$h_{r_{c-a}} = \varepsilon_c \sigma (T_c + T_{sky})(T_c^2 + T_{sky}^2) \text{ denkleminle hesaplanır.} \quad (4.8)$$

T_{sky} : Göküzü sıcaklığı

$$T_{sky} = T_a [0,711 + 0,0056 T_{dp} + 0,000073 T_{dp}^2 + 0,013 \cos(15t)]^{1/4} \quad (4.9)$$

t : Gece yarısından geçen süre

T_{dp} : Çiğ noktası sıcaklığı (C°)

Çiğ noktası sıcaklığı -20 C° ile 30 C° arası değişebilir. Göküzü sıcaklığı ile ortam sıcaklığı arasındaki fark nemli sıcak iklimlerde 5 C° kadarken, kuru ve soğuk iklimler için bu fark 30 C° kadar çıkabilir.

4.1.4 Koruyucu cam dış yüzeyinden ortam havasına taşınım katsayısının

($h_{c_{c-2}}$) hesaplanması:

Koruyucu cam dış yüzeyinden havaya zorlanmış taşınım ısı geçişi olabileceği öngörülmüştür. Literatürde tavsiye edilen denklemler yerine zorlanmış taşınım denkleminin kullanılmasının nedeni tavsiye edilen denklemlerin sadece spesifik koşullarda geçerli olacak şekilde üretilmiş olmasından kaynaklanmaktadır. (Not: Rüzgar hızı hesaplamalara 5m/s olarak kabul edildi.)

Zorlanmış taşınım denklemleri:

$$Nu = \frac{hL_b}{k} = 0,664 Re^{0,5} Pr^{1/3} \quad Re < 5 \times 10^5 \quad (4.10)$$

$$Nu = \frac{hL_b}{k} = 0,037 Re^{0,8} Pr^{1/3} \quad 5 \times 10^5 < Re < 10^7$$

$$0,6 < Pr < 6$$

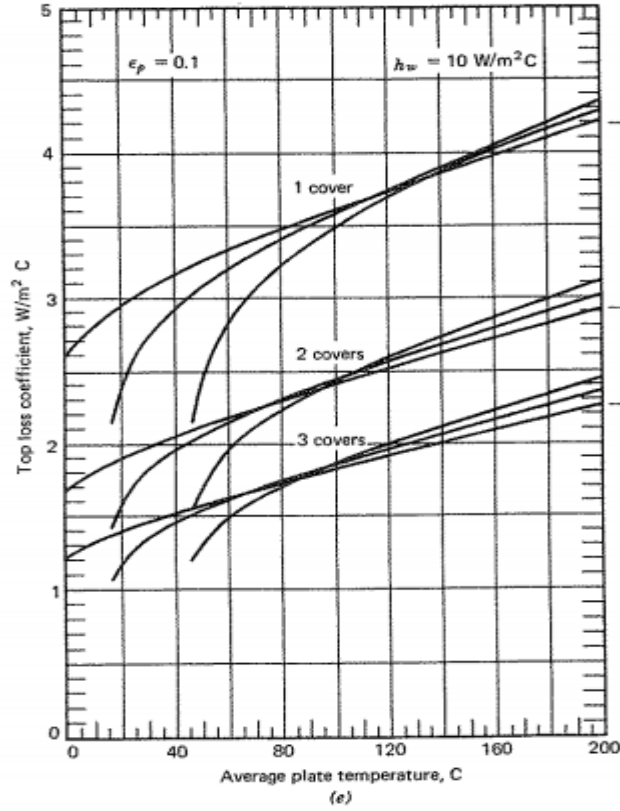
Cam üzerindeki yüzey için toplam ısı taşınım katsayısının hesaplanması ve kontrolü:

$$U_t = \left(\frac{1}{h_{c_{p-c}} + h_{r_{p-c}}} + \frac{1}{h_{c_{c-a}} + h_{r_{c-a}}} \right)^{-1} \text{ olduğu daha önceden belirtilmiştir. } 60^\circ\text{C plaka}$$

sıcaklığı ilk değeri ile iterasyonlara başlanır.

İterasyon	$T_p(C^\circ)$	$T_a(C^\circ)$	$T_c(C^\circ)$	$h_{c_{p-c}}(W/m^2K)$	$h_{r_{p-c}}(W/m^2K)$	$h_{r_{c-a}}(W/m^2K)$	$h_{c_{c-a}}(W/m^2K)$	U_t	$T_c(C^\circ)$ (kontrol)
1	60	30	40	4,01	0,3	5,14	9,67	3,76	
2	54,5	30	38	3,88	0,28	4,8	8,56	3,5	
3	54	30	37	3,85	0,275	4,688	8,34	3,11	

Tablo 4.1 Cam Üzerindeki Yüzey İçin Toplam Isı Taşınım Katsayısı



Şekil 4.3 Üst Yüzey Toplam Isı Transfer Katsayısı Değerleri[8]

Verilerle sonuçları göster

$$T_c = T_p - \frac{U_t(T_p - T_a)}{h_{c_{p-c}} + h_{r_{p-c}}} \quad (4.11)$$

bulunan sonuçlar kontrol edilir.

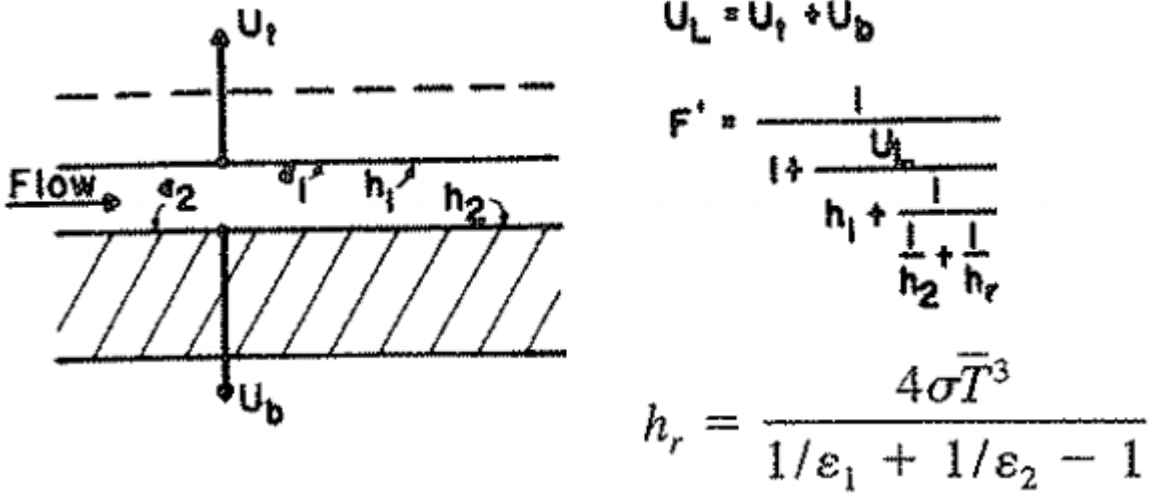
4.2 Arka yüzey (U_b) için ısı taşınım katsayısının hesaplanması

$$U_L = U_t + U_b \quad U_b = \frac{k_{yalıtım}}{l_{back}} \quad (4.12)$$

l_{back}	Arka taraftaki yalıtım kalınlığı [m]	0,05
$k_{yalıtım}$	Yalıtımın ısı iletim katsayısı [$\frac{W}{m K}$]	0,036
U_b	Arka yüzey için ısı taşınım katsayısı [$\frac{W}{m^2 K}$]	0,72
U_L	Toplam yüzey taşınım katsayısı [$\frac{W}{m^2 K}$]	3,85

4.3 Havalı kolektörün termal analizi

4.3.1 Standart Termal Analiz



Şekil 4.4 Kolektör Termal Analizi İçin Şematik Gösterim[8]

Akışkan havaya ısı transferinde gerçekleşen olayların daha rahat anlaşılması için meydana gelen olayların şematik gösterimi olan Şekil 4.4'den faydalanılmıştır.

Yalıtım tabakasının akışkana yakın yüzeyi ile emici plakanın arka yüzeyinden akışkana gerçekleşecek ısı transferinde her iki yüzey için ısı transfer katsayısı eşit kabul edilerek hesaplamalar yapılır. ($h_1 = h_2$)

Model oluşturulduktan sonra ilk olarak ortalama akışkan sıcaklığı ($T_{m,air}$) tahmin edilerek iterasyonlara başlanır. Akışkan özellikleri $T_{m,air}$ 'daki değerlerden okunur.

Daha önceki basamaklarda olduğu gibi ısı transferi iki ayak üzerinden hesaplanır. İlk olarak emici yüzey ile arka plaka arası ışınlım katsayısı (h_r) hesaplanır. Kullanılacak formül

$$h_r = \frac{4 \sigma T_{m,air}^3}{1/\varepsilon_p + 1/\varepsilon_{arka} - 1} \quad (4.13)$$

Daha sonra yüzeylerle akışkan arasında taşınım ($h_1 = h_2$) katsayısı hesaplanır.

Hidrolik yarıçap D_h

$$D_h = 4 \left(\frac{\text{Akış kesit alanı}}{\text{Islak çevre}} \right) = 4 \left(\frac{Ws}{2W} \right) = 2s \quad (4.14)$$

W : Kolektör genişliği = 1 m

L : Kolektör uzunluğu = 2 m

s : Akış kesiti genişliği = 0,01m

$$Re = \frac{\rho V D_h}{\mu} = \frac{\dot{m} D_h}{A \mu} \quad (4.15)$$

\dot{m} : Akışkan Debisi

A : Akış kesit alanı [m^2]

μ : Akışkan kinematik vizkozitesi

k : Akışkan ısı iletim katsayısı

$$h_1 = h_2 = \left(\frac{k}{D_h} \right) 0,0158 (Re)^{0,8} \quad (4.16)$$

h_1, h_2 ve h_r tek terim altında toplarsak:

$$h = h_1 + \frac{1}{h_2^{-1} + h_r^{-1}} \quad (4.17)$$

Havalı kolektörler için etkinlik faktör F' :

$$F' = \frac{h}{h + U_L} \quad (4.18)$$

İletme faktörü F_R :

$$F_R = \frac{\dot{m}c_p}{A U_L} \left(1 - \exp\left(-\frac{U_L F' A}{\dot{m}c_p}\right) \right) \quad (4.19)$$

c_p : Akışkan özgül ısısı

Kazanılan yararlı enerji Q_u :

$$Q_u = A F_R [S - U_L(T_i - T_a)] \quad (4.20)$$

T_i = Akışkanın kolektöre giriş sıcaklığı [C°]

Kazanılabilecek yararlı enerji belirlendikten sonra ısıtılan akışkanın çıkış sıcaklığı (T_0), ortalama akışkan sıcaklığı (T_{fm}) ve ortalama emici plaka sıcaklığı (T_{pm}) hesaplanır. Elde edilen veriler ilk kabul değerleriyle karşılaştırılır. Kabul edilen değerlerle hesaplanan değerler arasında farkın fazla olması durumunda yeni veriler kabul değerlerinin yerine konularak iterasyonlara devam edilir.

$$T_0 = T_i + \frac{Q_u}{\dot{m}c_p} \quad (4.21)$$

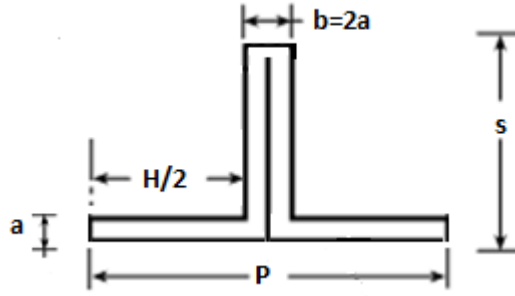
$$T_{fm} = T_i + \frac{Q_u/A}{F_R U_L} (1 - F'') \quad (4.22)$$

$$F'' = \frac{F_R}{F'} \quad (4.23)$$

$$T_{pm} = T_i + \frac{Q_u/A}{F_R U_L} (1 - F_R) \quad (4.24)$$

4.3.2 Artırılmış yüzey için ısı taşınım katsayısının hesaplanması (h_1)

Kolektörden elde edilebilecek faydalı ısıyı (Q_u) artırabilmek için taşınım ısı transferinin gerçekleştiği yüzeyler artırılabilir. Bunun için akışkanın içinden aktığı kanal üzerine kanatçık ekleyerek mümkün olan ısı transferi arttırmaya çalıştım.



Şekil 4.5 Kanatçık Profili

Kanatçık yüzeyin şematik gösterimi şekilde verilmiştir. Kanatçıkların oluşturulmasında $a=1\text{mm}$ kalınlığında alüminyum levha kullanılmıştır. $H/2=10\text{mm}$, $P=22$ olacak şekilde kanatçık sayısı $N=9$ olacak şekilde levha şekillendirilerek kanatçıklar oluşturulmuştur. [13]

Kanatçık yüzeyleri hesabı:

Kanatçık hesabı yapılırken öncelikle kanatçıklarda ısı transferinin meydana geldiği yüzeylerin alanları hesaplanır. Bu yüzeyler:

A_t : Isı transferinin gerçekleştiği toplam alan

A_b : Levha yüzeyinden ısı transferinin gerçekleştiği alan

A_f : Her bir kanatçık yüzeyinden ısı transferinin gerçekleştiği alan

$$A_t = A_b + N A_f = 5,528 \text{ m}^2 \quad (4.25)$$

$$A_f = 2 L (s - a) = 0,396 \text{ m}^2 \quad (4.26)$$

$$A_b = L (W - N b) = 1,964 \text{ m}^2 \quad (4.27)$$

Kanatçık yüzeyi için ısı taşınım katsayısının hesaplanması ve kanatçık verimi:

Kanatçıklar için Re hesaplanır.

$$Re_{kan} = \frac{\dot{m}_{kan} D_{h_{kan}}}{A_{kan} \mu} \quad (4.28)$$

\dot{m}_{kan} : Her bir kanatçık kanalı için kütleli debi ($\dot{m}_{kan} = \frac{\dot{m}}{N}$)

A_{kan} : Kanatçık kanal alanı ($A_{kan} = H(s - a)$)

$$D_{h_{kan}} = \frac{4(H(s-a))}{2(H+s-a)} \quad (4.29)$$

$$Nu_{kan} = 0,023 Re_{kan}^{0,8} Pr^{0,4} \quad (4.30)$$

$$h_{kan} = \frac{Nu_{kan} k}{D_{h_{kan}}} \quad (4.31)$$

Kanatçık için ısı iletim katsayı hesaplandıktan sonra kanatçık verimi hesabına geçilir.

$$m = \left(\frac{h_{kan} P_f}{k_{kan} A_{cf}} \right)^{1/2} \quad (4.32)$$

k_{kan} : Kanatçık ısı iletim katsayısı ($k_{al} = 200 \frac{W}{m K}$)

$$P_f = 2(L + b) \quad (4.33)$$

$$A_{cf} = L b \quad (4.34)$$

Kanatçık verimi (η_f) (4.35) ile hesaplanır

$$\eta_f = \frac{\tanh m L_c}{m L_c} \quad (4.35)$$

L_c : Kanat karakteristik uzunluğu

$$L_c = (s - a) \frac{b}{2} \quad (4.36)$$

Kanatçık toplam verimi (η_0)

$$\eta_0 = 1 - \frac{NA_f}{A_t} (1 - \eta_f) \quad (4.37)$$

Kanatçık üzerinde elektrik devresi benzeşimi yapılırsa

$$R_{kan} = \frac{a}{k_{kan} (W L)} + \frac{1}{\eta_0 h_{kan} A_t} \quad (4.38)$$

Kanatçık için toplam ısı transfer katsayısını emici yüzeyden itibaren hesaplırsak;

$$U_{kan} A_b = \frac{1}{R_{kan}} \quad (4.39)$$

Toplam ısı transfer katsayısı $U_{kan} = h_1$ alınarak hesaplamalara (4.17)'den devam edilir. Bu noktada dikkat edilmesi gereken bir unsur vardır. Kanatçık eklemesi ile artık denklem (4.17) verdiği sonuçlar yanlıştır.

Toplam ısı transfer katsayısı(U), DirençxAlan ile ters orantılı olarak değişir.

$$U A_{kol} = \frac{1}{R} \quad (4.40)$$

A_{kol} : Kolektör alanı

İlk kısımda emici yüzeyden cam tabakaya olan ısı transferi elektrik devresi benzeşim metodu ile modellenmişti. Emici plakadan akışkan havasına ve arka yüzeye olan ısı transferi Şekildeki gibi modellenebilir.

Eğer $h=U$ olarak kabul edersek yeni durumda emici plakadan akışkana toplam taşınım katsayısı (h)

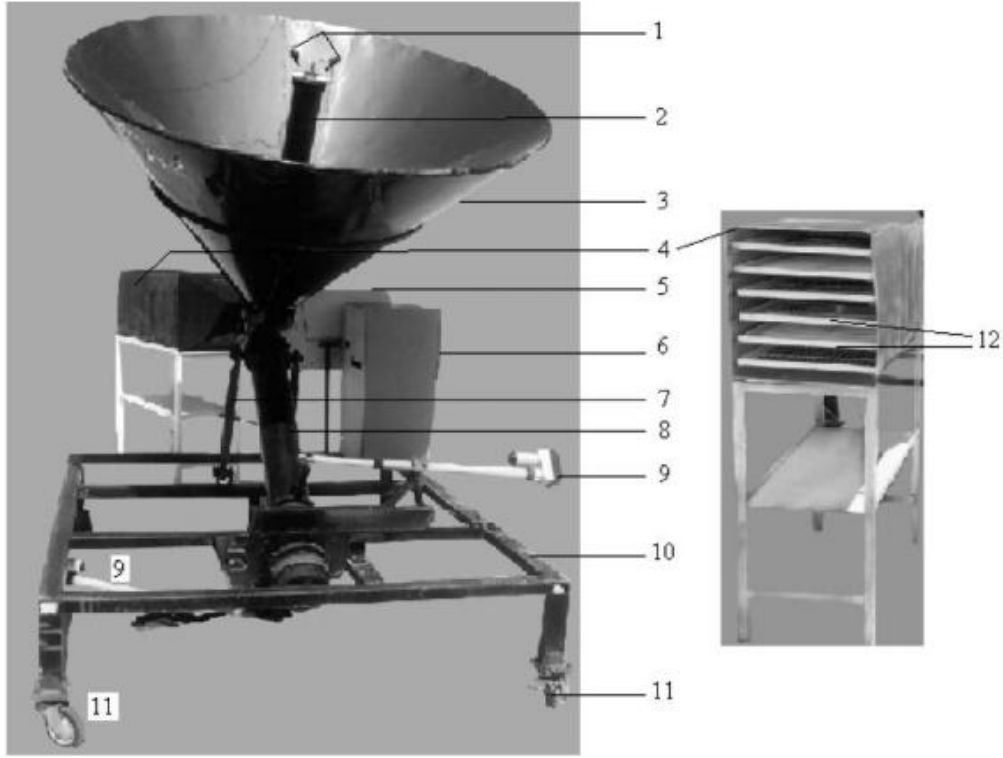
$$h A_{kol} = A_t h_1 + \frac{1}{\left(\frac{1}{A_b h_r}\right)^{-1} + \left(\frac{1}{A_b h_2}\right)^{-1}} \quad (4.41)$$

Bulunana h değeri (4.17) de yerine konarak hesaplamalara devam edilir.

5. KURUTMA PRENSİBİ:

Kurutma işlemi havalı kolektörlerden elde edilen sıcak havanın zorlanmış taşımıyla kurutma bölümünden geçirilmesi ile gerçekleştirilmiştir. İnce katmanlı kayısların kurutma havası koşullarının ve kurutma süresinin tespit edilmesinde matematiksel modelden yararlanılmıştır.[14]

Araştırmacılar söz konusu çalışmalarında konik yoğunlaştırıcı güneş kolektörü kullanıp sıcak hava meydana getirmişler, bir fan aracılığıyla sıcak havayı kurutma bölümünden geçirerek kurutma işlemi gerçekleştirilmişlerdir. Her ne kadar kolektör tipleri farklı olsa da benzer koşulların oluşturulması ile benzer sonuçlar elde edilebilir.



Şekil 5.1 Deneysel Araştırma için Tasarlanan Kurutma Cihazı

Şekil 5.1'de görülen araştırmacıların tasarımı için kurutma bölümü 420x460x1000mm ölçülerindedir. Bölümün sonundaki 500mm çapındaki bükülebilir alüminyum boru ile güneş kolektörüne bağlıdır. Kurutma bölümünde 400x800 ölçülerinde her biri 5 kg kapasiteli altı tepsi kurutma kapasitesini oluşturmaktadır. Tepsiler üzerinde oluşan kanalların yüksekliği 60mm'dir.

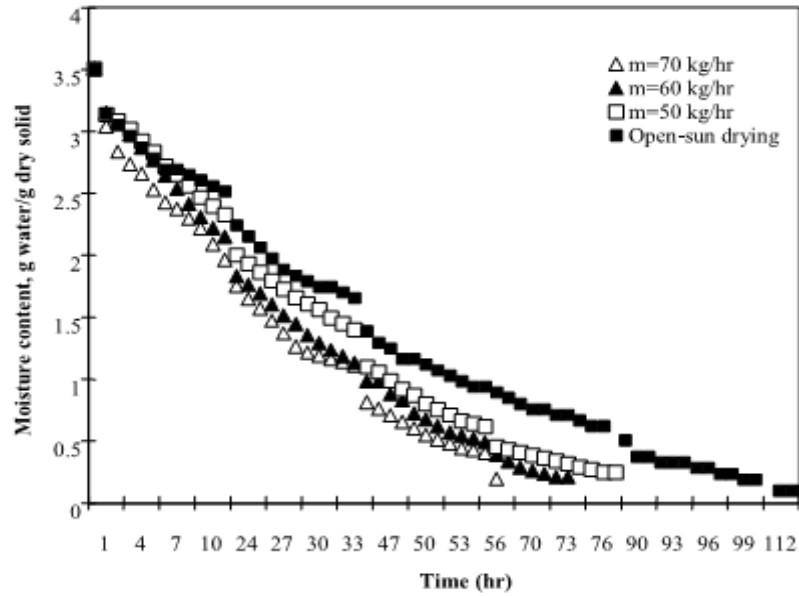
Araştırmacılar deney verilerini 2000 yılı içerisinde haziran-ağustos ayları arasında saat 8.00-18.00 arası yaptıkları kurutma işleri sonucunda toplamışlardır.

Kayıslar kurutma operasyonu öncesi genellikle SO_2 ile kükürtlenirler. Kükürtlenme işlemine tabi tutulan kayıslar ayrılmadan tepsilere konur. Uygun kuruluk değerlerine ulaşıldığında kayısı çekirdekleri elle çıkarılır, ikiye ayrılmış kayıslarla kurutma işlemine devam edilir.

Kayıslar kurutma operasyonlarında ürüne zarar gelmemesi için genellikle 50-80 C° arasında kurutma havası sıcaklığı tavsiye edilir, operasyon sonucunda yaş madde esasına

göre % 78 nemlilik içeren kükürtlenmiş kayısıların %16-18 arası nemlilik değerlerine ulaşılması amaçlanır.

Bu amaç doğrultusunda araştırmacılar yoğunlaştırılmalı güneş kolektöründen elde edilen ısıyı ile hazırlanan kurutma havasını, yukarıdaki tavsiye edilen sıcaklık değerlerinde tutmak için üç değişik debide (70,60,50 kg/h) fan kullanmışlar. Söz konusu periyot için kurutma havası bağıl nemi giriş koşulları için 0,18 değerindedir. Kurutma operasyonu sırasında değişik koşullar için nemlilik değerinin kuru madde esasına göre değişimi Şekil 5.2' de verilmiştir.



Şekil 5.2 Nemlilik Değerinin Zaman Bağlı Değişimi

Ulaşılması istenen nihai nemlilik değerine açık havada kurutma yapılırken 112 saatte ulaşılırken araştırmacıların tasarımlarında bu süre 68 – 78 arası bir zaman diliminde gerçekleşmektedir.

Elde ettikleri veriler işleyerek kurutma süresini bulmak için çeşitli modeller oluşturmuşlardır. Sonuçlara en yakın veriyi logaritmik model vermiştir.

$$MR = d \exp(-Kt) + e \quad (5.1)$$

MR : Nemlilik oranı

$$MR = \frac{M}{M_0} \quad (5.2)$$

M : Kuru madde esasına göre nemlilik [$\frac{kg su}{kg kuru madde}$]

M_0 : Kuru madde esasına göre ilk nem içeriği

d, e : Bağlı nem, akışkan hızı ve akışkan sıcaklığına bağlı model sabitleri

T : Akışkan sıcaklığı (model hesaplamaları için C° birimde)

V : Akışkan hızı [m/s]

RH : Bağlı nem

$$d = -33,856 + 27,621 V + 0,452 T + 42,569 RH$$

$$K = 2,661 - 2,082 V - 0,034 T - 3,263 RH$$

$$e = 55,626 - 44,132V - 0,716 T - 69,518 RH$$

Kurulan matematik model 50,1-58,5 C° aralığındaki sıcaklık derecelerinde, 0,11-0,15 m/s aralığındaki akışkan hızlarında ve %13-%19 bağlı nem değerlerinde kurutma süresini hassas olarak tahmin etmektedir.

Yaptığım tasarımda benzer koşulları meydana getirebilecek bir kurutucu bölümü tasarladım. Bu bölümde hava 0,15 m/s hızı ile kurutulacak madde üzerinden geçmekte hava sıcaklığı da 51-55 C° değeri arasında değişmektedir.

Buna ilave olarak araştırmacıların tasarladıkları kurutma bölmesi için $D_h = 0,1066$

Kurutma süresini etkileyecek parametrelerden aynı kurutma havası sıcaklık değeri, aynı Re ve aynı bağlı nem ile kurulan model ile hesap yapıldığında kurutma tahmini süresinin oldukça yakın olarak tahmin edilmesi beklenmektedir.

A	W	h	Dh	m(kg kuru hava/s)	30*m
0,045	0,75	0,06	0,108111	0,007269158	0,218075

Tablo 5.1 Kurutma Kanalı Özellikleri

Bu amaçla 750mm genişliğinde 1500mm uzunluğunda 17,5 kg kapasiteli tepsiler kullanılmıştır. Tepsiler üzerinde oluşan kanalların yüksekliği 60mm'dir. 30 adet tepsi kullanılmıştır. Böylece 525kg kapasiteye ulaşılmıştır.

Her bir tepsi için kurutma öncesi ve sonrası nem miktarları hesaplanmış ve şekilde verilmiştir.

Kurutulan kütle	yaş	kuru m1	m1
Kurutma öncesi	13,0999472	4,4000528	17,5
Kurutma sonrası	0,96586525	4,4000528	5,365918
	Buharlaştırılacak miktar		12,13408

Tablo 5.2 Kurutma Öncesi ve Sonrası Kuru ve Yaş Kütle

Buharlaştırılacak miktar bulunduktan sonra bu değer tahmin edilen kurutma süresine bölünmesiyle buharlaştırma debisi elde edilir. Her bir kanaldaki akış debisinin buhar debisine bölünmesiyle kurutma işlemi sırasında birim hava akımının uçurduğu buhar miktarı(wb) bulunur.

buhar debisi(kg bu/s)	wb(kg b/kg hava)	w1(kg b/kg h)	h1	T1°C	Bağıl nem
0,000140441	0,019320086	0,01144	82,38	55	0,17

Tablo 5.3 Buharlaşma Debisi Giriş

Havanın giriş sıcaklığı ve bağıl nemi girilerek kurutma havasının entalpisi Dr Turhan Çoban'ın yazmış olduğu "nem ölçüm" programı aracılığıyla bulunur. Program iki veri girilmesi durumunda istenen basın ve sıcaklıkta nemli havanın diğer özelliklerini vermektedir.

Çıkış havasındaki birim hava başına nem miktarı nem miktarı:

$$wb + w1 = w2 \quad (5.3)$$

Hava içinde bir miktar daha suyun buharlaşmasıyla çıkış havasının entalpisi değişir.

$$H_2 = h_a + w2 h_v = C_p T + w2 h_g \quad (5.4)$$

Bunun için basitçe havanın entalpisi (h_a) ile buharlaşan suyun entalpisi toplamının çıkış havasının entalpisi hesaplanır.

C_p : Havanın özgül ısı= 1,005 kJ/kg C°

h_g : Suyun entalpisi = 2447,2 kJ/kg

T : Hava sıcaklığı (C°)

Yapılan hesapla:

w2(kg b/kg h)	h2	T2
0,030760086	123,5771	44,05

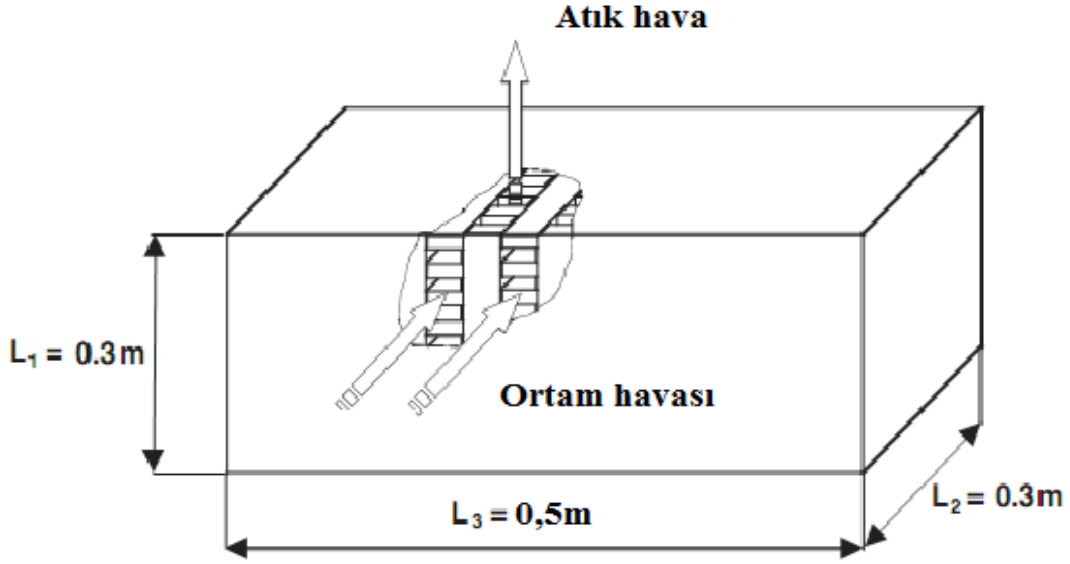
Tablo 5.4 Kurutma Sonrası Atık Hava Özellikleri

İki değerin hesaplanması ile söz konusu program kullanılarak çıkış havası sıcaklığı hesaplanır. Buradan çıkan hava ısı değiştiricisine gönderilerek kolektör giriş havasının ortalama sıcaklığının yükseltilmesi amaçlanmıştır.

6. ISI DEĞİŞTİRİCİSİ HESABI:

Kurutma bölgesi için içinde kurutmanın gerçekleşmesiyle kolektörden gelen sıcak havanın sıcaklığında meydana gelen azalma bir önceki bölümde gösterilmişti. Bununla birlikte kurutma bölgesinden çıkan atık hava hala daha bir miktar kullanılabilir ısı içermektedir. Atık ısıdan faydalanabilmek için kanatçık plakalı bir ısı değiştiricisi

tasarımda kullanılmış, giriş havası sıcaklığının artırılması amaçlanmıştır.[15] Örnek resim..



Şekil 6.1 Çapraz Akışlı Kanatçık Plaka Isı Değişiricisi

6.1 Isı değiştiricisine ait karakteristik yüzey özellikleri

b_h : Isı değiştiricisi plaka kalınlığı = $2,49 \text{ mm}^{-1}$

l_s : Kanatçık uzunluğu = $3,18 \text{ mm}$

D_{h_h} : Isı değiştiricisi hidrolik yarıçap = $0,00154$

δ_f : Kanatçık metali kalınlığı = $0,102$

$\frac{A_f}{A}$: Kanatçık alanı/toplam alan oranı = $0,785$

β_h : Isı transferi yüzeyi/ toplam hacim oranı = $2254 \frac{\text{m}^2}{\text{m}^3}$

*Atık havaya ait özellikler 'g', ortam havasına ait özellikler 'a' alt indisleri ile gösterilmiştir.

6.1 Yüzey geometrik özelliklerinin belirlenmesi

Çevre ortama ısı kaybını en aza indirmek için sıcak havanın N_p kanal, ortam havasının ise N_p+1 kanal içinde akması sağlanmıştır.() kullanılarak $N_p=83$ olarak

bulunur. $L_3 = N_p b_g + (N_p + 1) b_a + (2N_p + 2) \delta_w$

(6.1)

δ_w : Plaka kalınlığı = 0,5mm

Atık hava ve ortam havası için ön kesit alanı: $0,05445m^2$

$$A_{fr,g} = L_2 L_3 = 0,15m^2 \quad (6.2)$$

$$A_{fr,a} = L_1 L_3 = 0,15m^2 \quad (6.3)$$

Her iki akışkan için plakalar arası ısı değiştiricisi hacmi:

$$V_{p,g} = L_1 L_2 (b_g N_p) = 0,018600 m^3 \quad (6.4)$$

$$V_{p,a} = L_1 L_2 b_a (N_p + 1) = 0,0188244m^3 \quad (6.5)$$

Akışkanlar için ısı transferi alanları:

$$A_g = \beta_g V_{p,g} = 41,9250762 m^2 \quad (6.6)$$

$$A_a = \beta_a V_{p,a} = 42,430197 m^2 \quad (6.7)$$

Minimum akış kesiti hidrolik yarıçapın tanımından hesaplanır

Hidrolik yarıçap;

$$D_h = 4A_o L / A \quad (6.8)$$

$$A_{o,g} = \frac{(D_h A)_g}{4L_g} = 0,05380 m^2 \quad (6.9)$$

$$A_{o,a} = \frac{(D_h A)_a}{4L_a} = 0,05445m^2 \quad (6.10)$$

En son olarak da ön kesit alanının serbest akış alanına oranı hesaplanır:

$$\sigma_g = \frac{A_{o,g}}{A_{fr,g}} = 0,35869 \quad (6.11)$$

$$\sigma_a = \frac{A_{o,a}}{A_{fr,a}} = 0,36301 \quad (6.12)$$

6.3 Ortalama sıcaklıklar ve akışkan özellikleri:

Her iki taraftaki ortalama akışkan özelliklerinin hesaplanması için C^* hesaplanması gerekir.

Bunun için ilk etapta akışkan yoğunlukları (ρ_g, ρ_a) girilir ve akışkan debileri hesaplanır.

$$\dot{m}_g = \dot{V}_g \rho_g \quad (6.13)$$

$$\dot{m}_a = \dot{V}_a \rho_a \quad (6.14)$$

İlk etapta etkinlik katsayısı $\varepsilon = 0,75$ alınarak hesaplamalara başlanır. Akışkanların çıkış sıcaklıkları tahmin edilir.

$$T_{g,o} = T_{g,i} - \varepsilon(T_{g,i} - T_{a,i}) \quad (6.15)$$

$$T_{a,o} \approx T_{a,i} + \varepsilon \left(\frac{\dot{m}_g}{\dot{m}_a} \right) (T_{g,i} - T_{a,i}) \quad (6.16)$$

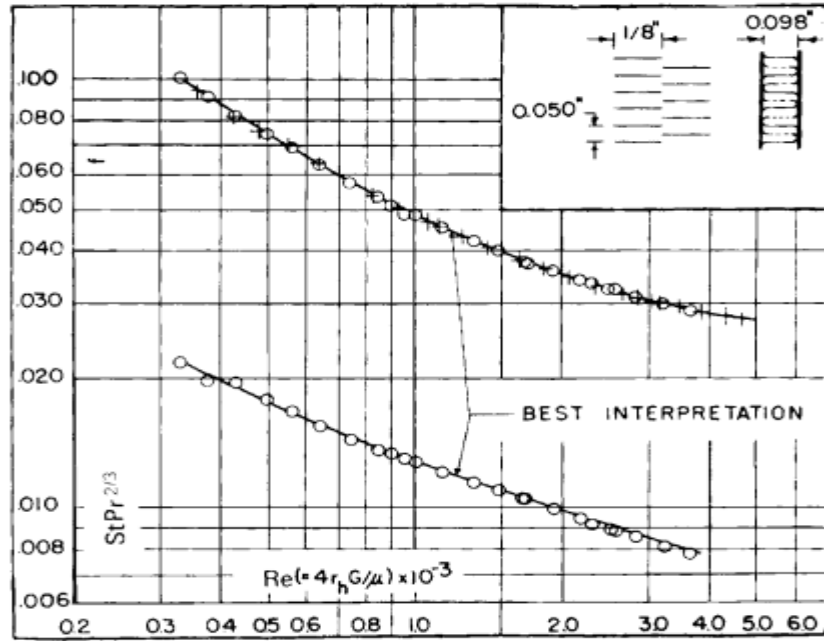
Bulunan değerlerin giriş sıcaklıkları ile ortalamasının alınmasıyla akışkanlar için ortalama sıcaklık değerleri hesaplanmış olur. Tablolardan okunan özellik değerleriyle Re sayıları her iki akışkan için de hesaplanır.

$$Re_g = \left(\frac{GD_h}{\mu} \right)_g \quad Re_a = \left(\frac{GD_h}{\mu} \right)_a \quad (6.17)$$

$$G_g = \frac{\dot{m}_g}{A_{o,g}} \quad G_a = \frac{\dot{m}_a}{A_{o,a}} \quad (6.18)$$

6.4 Isı transferi katsayılarının ve kanat etkinliğinin hesaplanması

$$h_g = \left(\frac{jGc_p}{Pr^{2/3}} \right)_g \quad h_a = \left(\frac{jGc_p}{Pr^{2/3}} \right)_a \quad (6.19)$$



Şekil 6.2 i ve j Faktörleri Bulunmasında Kullanılan Tablo

Isı tranferi katsayıları hesaplandıktan sonra her iki akışkanın geçtiği yüzeyler için kanatçık verimleri hesaplanabilir.

$$m_g = \left[\frac{2h}{k_f \delta} \left(1 + \frac{\delta}{\ell_s} \right) \right]^{1/2} \quad m_a = \left[\frac{2h}{k_f \delta} \left(1 + \frac{\delta}{\ell_s} \right) \right]^{1/2} \quad (6.20)$$

$$\ell_a = \ell_x \approx b/2 - \delta \quad (6.21)$$

Kanatçık verimi:

$$\eta_{f,g} = \frac{\tanh(m\ell)_g}{(m\ell)_g} \quad \eta_{f,a} = \frac{\tanh(m\ell)_a}{(m\ell)_a} \quad (6.22)$$

Toplam kanatçık verimi:

$$\eta_{o,g} = \left[1 - (1 - \eta_f) \frac{A_f}{A} \right]_g \quad \eta_{o,a} = \left[1 - (1 - \eta_f) \frac{A_f}{A} \right]_a \quad (6.23)$$

Formülleriyle bulunur.

Duvar direnci (R_w) ve toplam iletkenlik (UA): 15,12 m²

Duvar direncinin bulunması için duvar temas alanının (A_w) bulunması gerekir.

$$A_w = L_1 L_2 (2N_p + 2) = 15,12 \text{ m}^2 \quad (6.24)$$

$$R_w = \frac{\delta_w}{k_w A_w} \quad (6.25)$$

k_w : Duvar ısı iletkenlik katsayısı = 18 $\frac{W}{m^2 K}$

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{(\eta_o h A)_h} + R_w + \frac{1}{(\eta_o h A)_c} \quad (6.26)$$

6.5 NTU, Isı değıştiricisi etkinlik katsayısı ve Çıkış sıcaklıklarının hesaplanması

Sırasıyla

$$C_a = (\dot{m}c_p)_a \quad C_g = (\dot{m}c_p)_g \text{ hesaplanarak} \quad (6.27)$$

$$C^* = \frac{C_{\min}}{C_{\max}} \quad \text{ve} \quad NTU = \frac{UA}{C_{\min}} \text{ bulunur.} \quad (6.28)$$

KAYNAKLAR

[1] GÜNGÖR A., ÖZBALTA N.: “Endüstriyel Kurutma Sistemleri”, 3. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Bildiriler Kitabı, C 2, Yayın No 203/2, (75-747), 20-23 Kasım 1997.

[2] DADALI A., ERİK B.: “Güneş Enerji Destekli Kurutucu Tasarımı” Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Haziran 2010

[3] McCABE W.L., SMİTH J.C., Unit Operations of Chemical Engineering, McGraw-Hill, Kogakusha, 1976.

[4] TRAYBAL R.E., Mass-Transfer Operations, McGraw-Hill, Kogakusha 1968.

[5] ÇATALTAŞ İ., Kimya Mühendisliğine Giriş, İnkilap ve Aka Basımevi, 1973..

[6] GÜNGÖR A., ÖZBALTA N.: “Kurutma Sistemlerinde Isı Pompası Kullanım Potansiyeli”, 3.GAP Mühendislik Kongresi, (107-116), 24-26 Mayıs 2000, Urfa.

[7] BAŞARAN B., BİTLİSLİ O., GÜNGÖR A., ÖZBALTA N., SARI Ö.: “Deri Kurutulmasında Yeni Teknolojiler: Isı Pompalı Kurutucular”, 1. Ulusal Deri Sempozyumu, (633-648), 7-8 Ekim 2004, İzmir.

[8] DUFFİE J.,BECKMAN A.: “Solar Engineering of Thermal Processes” , University of Wisconsin-Madison , Solar Energy Laboratory, John Wiley and Sons Inc., Third Edition

[9] ŞEN Z. : “Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques” , Springer, First Edition

[10] www.weatheronline.com “Malatya- Güneşli Saatler”

[11] Malatya ili Global Radyasyon Değerleri,
<http://www.eie.gov.tr/duyurular/YEK/gepa/MALATYA-GEPA.pdf>

[12] KALOGİROU S. : “Solar Energy Engineering”, Elsevier Inc.,First Edition, 2009

[13] INCROPERA F.P., DeWITT D.P., Isı ve Ktle Geişinin Temelleri, Purdue Üniversitesi, School of Mechanical Engineering, LİTERATR:Yayınclık, Dağıtım, Pazarlama, Sanayi ve Ticaret Ltd. şti.

[14] Togrul İ., Pehlivan B.:” Mathematical Modelling of Solar Drying of Apricots in Thin Layers” Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering,Fırat University,Elazıg ,Turkey, December 2001

[15] Ramesh K. Shah , Duşan P. Sekulic “Fundamentals Of Heat Exchanger Design”, John Wiley & Sons, Inc. 2003