

**SUNTA SANAYİSİNDE
YONGA KURUTUCUSUNUN
ISI EKONOMİSİ
Özgür SELÇUK**

**Yüksek Lisans Tezi
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA 2003**

**T.C
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

SUNTA SANAYİSİNDE YONGA KURUTUCUSUNUN ISI EKONOMİSİ

Özgür SELÇUK

Danışman :Prof.Dr. Mehmet KUNDUZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

ISPARTA,2003

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne

Bu çalışma jürimiz tarafından MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan :Prof .Dr. Mustafa ACAR

Üye :Prof. Dr. A.Kemal YAKUT

Üye :Prof. Dr. Mehmet KUNDUZ

ONAY:

Bu tez/...../..... tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

...../...../.....

Prof. Dr. Remzi KARAGÜZEL
Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|--|---------------------|
| İÇİNDEKİLER..... | i |
| ÖZET..... | iii |
| ABSTRACT..... | iv |
| ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR | v |
| SİMGELER LİSTESİ..... | vi |
| ŞEKKİLLERLİSTESİ..... | viii |
| 1.GİRİŞ..... | 1 |
| 1.1. Fabrikanın Isı Dolaşım Sistemi..... | 1 |
| 1.2. Fabrikanın Yonga Levha Üretim Teknolojisi..... | 2 |
| 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI..... | 4 |
| 3. YONGALARIN KURUTULMASI..... | 10 |
| 4. KURUTUCU TİPLERİ..... | 15 |
| 4.1. Döner Silindirli Kurutucular, Borulu Kurutucular, Döner Jetli Kurutucular..... | 15 |
| 4.2. Çok Bantlı Kurutucular..... | 20 |
| 4.3. Kontakt Kurutucular..... | 21 |
| 4.4. Türbinli Kurutucular..... | 24 |
| 4.5. Atık Gaz Akımlı Kurutucular..... | 25 |
| 4.6.Süspansiyon Tip Kurutucular..... | 26 |
| 5. MATERYAL VE METOT | 29 |
| 5.1.Materyal..... | 29 |
| 5.2.Metot..... | 32 |
| 5.2.1. Kurutucu Ocağı İçin Yakıt Analizi ve Yanma. Denklemleri. | 32 |
| 5.2.2. Yanma Havası Miktarının Hesaplanması..... | 34 |
| 5.2.3 Hava Fazlalık Katsayısı | 37 |
| 5.2.4. Duman Gazı Analizi..... | 37 |
| 5.2.5. Kurutma Havası Miktarı ve Klima Havası Isı İhtiyacı..... | 39 |

| | |
|---|----|
| 6.BULGULAR..... | 44 |
| 6.1. KURUTUCU DÜZENEĞİNDE ISI EKONOMİSİ ÇALIŞMALARI.... | 44 |
| 6.1.1. Atık Isı Geri Kazanımı Çalışması..... | 44 |
| 6.1.2. Klimanın Kaldırılması..... | 44 |
| 7. TARTIŞMA ve SONUÇ..... | 50 |
| KAYNAKLAR..... | 51 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 52 |

ÖZET

Yonga levha üretiminde uygulanan işlemlerden biriside yongaların kurutulmasıdır. Kurutma işlemi yonga levha üretiminde önemli bir yer tutmaktadır. Yongaların içerisine katılan tutkal, reçine gibi bağlayıcı maddeler, sertleştirici maddeler ile koruyucu maddelerin miktarında yonga rutubeti etkili olur. Yonga rutubetinin diğer bir etkisi de yonga levhanın mekanik özellikleri (eğilme, çekme, direnç) üzerinedir ve bu değerlerin belirli bir sınırdaki tutulması TSE tarafından istenmiştir.

Isparta Orma fabrikasında incelediğimiz kurutma işlemi için döner silindirik kurutma fırını kullanılmış kurutma havasını ise toz yakımı ile elde edilen sıcak duman gazları ve hava karışımı oluşturmuştur. Kurutma havası ile ıslak yongalar döner fırında aynı yönde hareket ederek aspiratör emişiyle sürüklenirler.

Yonga kurutulmasında yonga cinsi, kalınlığı, giriş çıkış rutubetleri etkili olur. Materyal özelliğinin yanı sıra kurutma havası sıcaklığı, rutubeti, havanın sirkülasyon hızı etkilidir.

Yonga levha üretim sürecinde ısı enerjisi tüketimi toplam üretim maliyetinin %30-40'ını oluşturmaktadır. Kurutmayı etkileyen faktörleri göz önüne alarak mevcut kurutma sistemi üzerinde ısı ekonomisi çalışmaları yapılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER :Yonga Kurutma, Kurutucular

ABSTRACT

Drying the chip boards is one of the processes, which is applied in chip board signboard production. Damp of chip board is very important at chip board signboard production. Damp of chip board is very effective at quantity of connective materials, harder materials and protective materials like glue and resin, which are joined in chip boards. The other effect of chip board damp is about mechanical peculiarities of chip board sign boards (for example; bending, attraction, resistance) and limiting of these prices at a determined degree is wished by TSE

For the drying process which we had examined in Isparta Orma factory, they use a drying oven with turning roller and drying air was formed by hot smoke gases which is obtained from firing dust. Drying air and wet yanges involve inturning oven moving at the same direction like an aspirator sucking.

Species of chip board thickness of chip board, entry and exit dampers are effective at drying chip board. Heat of drying air, damp of drying air circularization speed of air are effective beside material peculiarities.

At the chip board signboard production process, heat energy consumption forms %30-40 of total investment of production. On the present drying system, heat economy studies made by finding the activities which are effective drying.

KEY WORDS : Chip Dry, Dryer

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Bir endüstrinin varlığını sürdürebilmesi için rekabete açık olup gelişebilmesi için kaliteyi yüksek maliyeti ise düşük tutmak zorundadır.

Bu gün bir çok ülkede endüstriyel enerji tüketiminin %25-30 sıcak gazlar ve sıvıların dışarı atılması gerekli enerjinin yerinde ve zamanında kullanılmamasıyla kaybolmaktadır.

Üretim sürecinde yapmış olduğumuz masrafları sürekli takip ederek enerjinin en çok sarfedildiği yerde çalışmalarımızı sürdürerek ekonomikliği doğru gitmek zorundayız. Bu çalışmamızda Orma fabrikasında bulunan yonga kurutma ünitesi incelenip ısı ekonomisi analizi yapılmıştır.

Bu çalışmamızın ortaya çıkmasında yardımlarını ve bilgilerini esirgemeyen saygıdeğer hocalarım Prof. Dr. Mehmet KUNDUZ'a ve Yrd. Doç. Dr. Ali BOLATTÜRK'e, Yrd. Doç. Dr. Reşat SELBAŞ'a, Öğr.Gör. Ahmet ÖZSOY'a Arş.Gör.A.Emre ÖZGÜR'e, Arş.Gör. Feyza AKARSLAN'a ve Orma çalışanlarına teşekkür ederim.

SİMGELER LİSTESİ

| | |
|----------------------------|--|
| A | : Kesit alanı mm^2 |
| c_p | : Özgül ısı $\text{kcal/kg } ^\circ\text{C}$ |
| h | : Entalpi kcal/kg |
| ΔH_o | : Özel yük kaybı Pa |
| H_u | : Alt ısııl değer kcal/kg |
| L | : Uzunluk m |
| m_a | : Kuru duman gazı kg |
| $m_{\text{buharlaşan su}}$ | : Üründen çekilen su miktarı kg/h |
| $m_{\text{duman gazı}}$ | : Duman gazı miktarı kg/h |
| $\Delta m_{\text{kömür}}$ | : Kömür farkı kg/h |
| m_{kurutma} | : Kurutma havası debisi kg/h |
| m_{klima} | : Klimanın enjekte ettiği hava miktarı kg/h |
| m_0 | : Ocağa enjekte edilen hava miktarı kg/h |
| Δm_{toz} | : Toz yakıt farkı kg/h |
| $m_{\text{yakıt}}$ | : Yakıt miktarı |
| N | : Güç kW |
| P | : Atmosfer basıncı kPa |
| P_B | : Doyma basıncı kPa |
| ΔP | : Basınç farkı kPa |
| Q_{klima} | : Klimanın verdiği ısı miktarı kcal/h |
| R | : Çap mm |
| T | : Sıcaklık $^\circ\text{C}$ |
| U | : Ocağın havasının hızı m/s |
| V | : Hava debisi m^3/s |
| V_{top} | : Kanaldan geçen hava debisi m^3/s |
| w | : Radyatör havasının hızı m/s |
| x_h | : Havanın içerdiği mutlak nem oranı kg/kg |
| x_1 | : Duman gazının içerdiği mutlak nem oranı kg/kg |
| x_2 | : Klima havasının içerdiği mutlak nem oranı kg/kg |

| | |
|-----------|--|
| x_3 | : Karışım havasının içerdiği mutlak nem oranı kg/kg |
| x_4 | : Kurutma sonunda havanın içerdiği mutlak nem oranı kg/kg _{yakıt} |
| τ_0 | : Özel yük kayıp katsayısı |
| φ | : Bağlı nem |
| ρ | : Hava ve duman gazı yoğunluğu kg/m ³ |
| λ | : Hava fazlalık katsayısı |

ŞEKİLLER LİSTESİ

| | <u>Sayfa</u> |
|------------|--|
| Şekil 1.1 | Yatık yongalı levhalarda üretim şeması 3 |
| Şekil 2.1 | Kayın yongaların kurutulmasında yonga kalınlığının kurutma süresine etkisi..... 14 |
| Şekil 2.2. | Yonga kurutma süresi üzerine etkili olan başlangıç rutubeti ile ağaç türü arasındaki ilişki. 14 |
| Şekil 3.1. | Döner tip silindirik kurutucu..... 16 |
| Şekil 3.2. | Kurutucu silindiri içindeki kanatlar..... 16 |
| Şekil 3.3. | SCHILDE marka kurutma makinesinin şeması 19 |
| Şekil 3.4. | Yongaların kontakt kurutucularda kurutulma şeması..... 23 |
| Şekil 3.5. | Gaz sirkülasyonlu kurutma makinesi..... 25 |
| Şekil 4.1. | Klima sistemi..... 29 |
| Şekil 4.2. | Döner silindirli yonga kurutma ünitesi 30 |
| Şekil 5.1. | Hiğroskopik üründe kurutma hızının zamanla değişimi..... 40 |

1.GİRİŞ

Isparta Orma fabrikasında incelenen sistemde yonganın içerdiği nem belirli bir sınır değere kadar buharlaştırılarak uzaklaştırılıyor.

Kurutma işlemini yapabilmek için, toz yakıt yakan brülörlü bir kazan ve döner fırından yararlanılıyor. Kazanda tozun yanması sonucu çıkan duman gazına, klima sistemi ile 137,5 °C kadar ısınan ortam havası karıştırılıp, 340 °C de döner fırına gönderiliyor. Döner fırın içerisinde kurutma havasından yongaya ısı transferi ve bu ısı transferiyle yonga üzerinden buharlaşan su, buhar olarak kurutma havası içerisine transfer olur. Döner fırın sonunda rutubeti azaltılmış, sıcaklığı artmış yonga ile girişteki sıcaklığa göre sıcaklığı azalmış ve rutubeti ise artmış kurutma havası dışarı çıkar.

1.1Fabrikanın Isı Dolaşım Sistemi

Fabrikanın gerekli ısı ihtiyacı iki adet katı yakıtlı kızgın yağ kazanı tarafından karşılanmaktadır. Yakıt olarak ithal fındık kömürü ve odun artıkları kullanılmaktadır. Bu iki kazandan biri 4.500.000 kcal/h diğeri ise 3.000.000 kcal/h ısı üretme gücüne sahiptir. Büyük kazanın beslediği kızgın yağ tesisatında iki adet yonga kurutucusu, bir adet melamin presi, bir adet kağıt kurutma fırını, iki adet ısı değiştiricisi bulunmaktadır. Küçük kazanın beslediği kızgın yağ tesisatında ise iki adet melamin presi, üç adet yonga levha presi bulunmaktadır. Bu kazanlar tesisatı bu şekilde ayrı kollardan besledikleri gibi tek koldan da besleme yapabilmektedir. Kazanlardan birinin bakım veya onarıma alınması halinde diğer kazan tarafından ısı ihtiyaçları kısıtlamalı olarak karşılanmaktadır. Bu düzenekle tesisin aralıksız üretimine devam etmesi sağlanmaktadır.

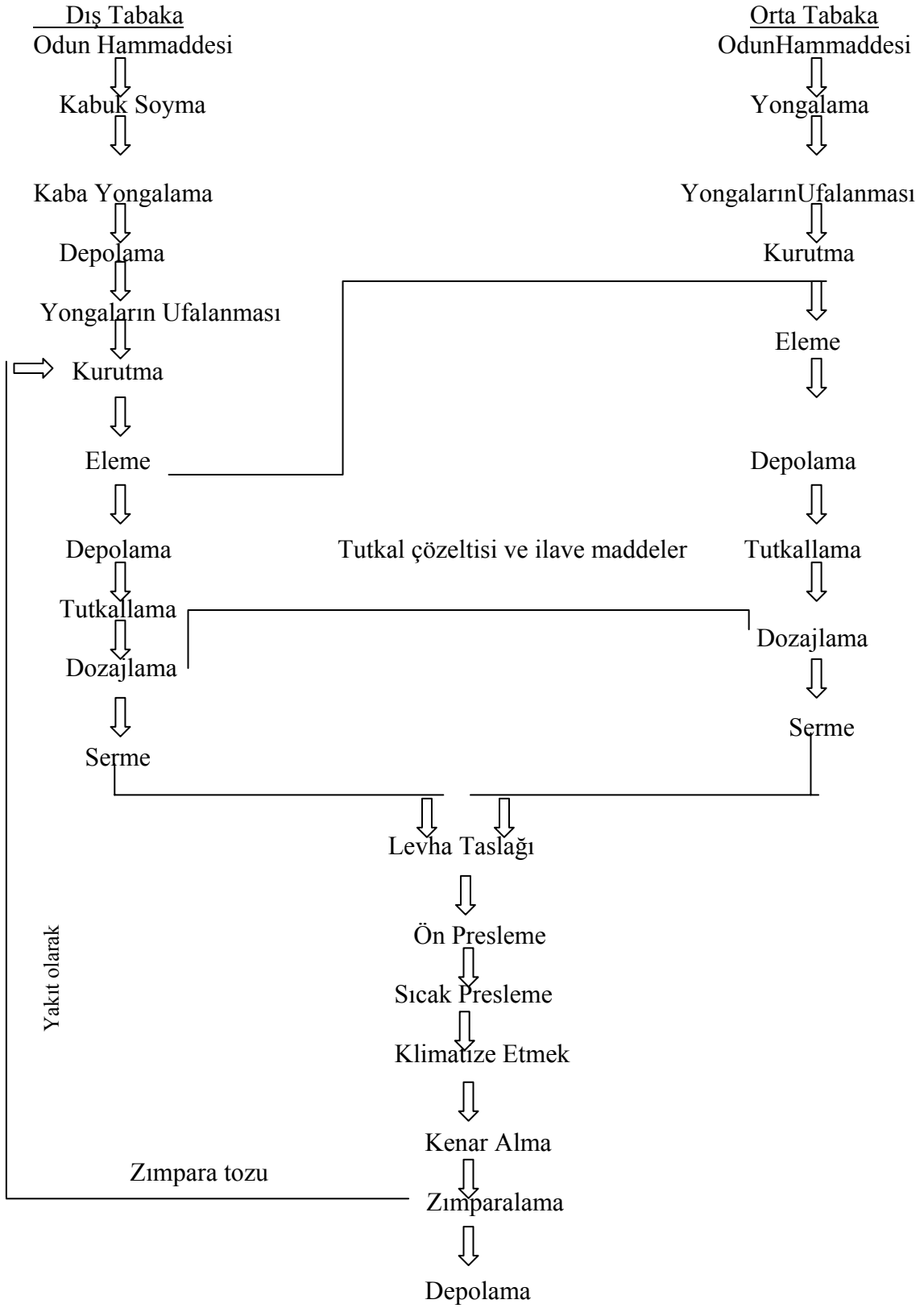
Kızgın yağ tesisatı gidiş ve dönüş olmak üzere iki hattan oluşmaktadır. Kazanlarda ısınan yağ, tesisatın gidiş hattına basılarak ısı ihtiyacı olan tüm makine ve ısı değiştiricilerine ulaşmaktadır. Bu şekilde preslerin yüzeyinde, ısı değiştiricilerinde ve yonga kurutucusunun klima radyatörlerinde dolaştırılan yağ ısını, preslerde pres

yüzeylerine, ısı değiştiricilerinde suya, kurutucu klimasında ise havaya aktarmaktadır. Kazanda üretilen ısı gerekli yerlere ulaşmaktadır. Bu şekilde soğuyan yağ dönüş hattıyla kazana gitmektedir.

1.2. Fabrikanın Yonga Levha Üretim Teknolojisi

Yonga levha üretim teknolojisinde iki üretim teknolojisi söz konusudur. Yatık yongalı levha üretimi ve dik yongalı levha üretimi (OKALTİPİ)' dir. Başkaca daha bir çok şekilleri mevcuttur. İncelemeye alınmış olan tesiste ise yatık yongalı levha üretim teknolojisi yer almaktadır.

Yatık yongalı levhaların üretim teknolojisi ile ilgili şema şekil 1.1'de gösterilmiştir.(Bozkurt ve Göker,1990)



2.KAYNAK ARAŞTIRMASI

İlk kurutucu patenti Almanya'da 1878'de alınmış ve bu kurutucunun tasarımına esas alınan teori yalnızca ısı transferi olmuştur. Bundan sonra 1920'lerde psikrometrinin gelişmesi ve kurutmanın uygun kinetik açıklamasının aranmaya başlamasından önce sıcaklık ve buharlaşma arasında matematiksel ve grafik bağıntılar olarak en kayda değer çalışmalar Grosvenor'un ve Mollier'in sıcaklık-entalpi-nem bağıntıları ve buna dayalı diyagramlarıdır (Güneş, 1994)

1920'lerden çok önceleri Davies, buharlaşma hızının, sıvı buharı ve havanın 'buhar gerilimi' farkının eşit olduğunu ifade etmiş ve çeşitli sıvılarla ıslatılıp elle sıkılarak kurutulan yün kumaşın kurummasının gelişimine ait değerler verilmiştir. Genellikle son %10'luk rutubetin alınması için gerekli zaman %35 için gerekenden fazla çıkmıştır. Burada belirtileri izlenen ve kurutmada en önemli önerme olarak alınabilecek olan 'kurutma etkisiyle nem azaldıkça kurutma hızı da giderek azalır' önermesi Luikov'a göre 1908'de Kossovitch tarafından bulunmuştur. Bir tekstil teknolojisti olan Fisher de boyanmasını tek bir yün elyafı ile yaptığı deneyler sonucunda kurutmayı üç devreye ayırarak bunlarla ilgili bağıntıları verip deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır (Güneş, 1994).

Fisher'in maddelerin nem kayıp davranışlarını incelediği yıllarda, ABD'de de Lewis kuruma sürecini belirlemeye çalışıyordu. Lewis bulgularını 'Bir katının kuruması iki bağımsız işlemde oluşur:

1- katının dış yüzeyinden nemin buharlaşması,

2- nemin katının içerisinden dış yüzeyine doğru yayılması,

şeklinde özetlemiştir. Lewis yayılmanın sıvı fazda oluştuğunu varsaymış ve bazen birinci, bazen ikinci sürecin kurumayı belirlediğini kabul ederek bunu doğrulayan deney sonuçları vermiştir.

1930’lardan sonra kurutma teorilerini, sıvı-difüzyon teorisi, kapiler teorisi, Krischer teorisi, Philip ve De Viries teorisi, Luikov teorisi ve Whitaker teorisi şeklinde sınıflandırmak mümkündür (Güneş, 1994).

- Sıvı-Difüzyon Teorisi:

Bu gruba giren çalışmalarda kurutmada esas alınan olay, nemin sıvı yayılmasıyla hareketidir. En genel haliyle;

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \nabla(K_L \nabla X) \quad (1)$$

şeklinde formüle edilen Fick denklemlerinin değişik form ve varsayımlarla ifade edildiği bu süreçte X (kuru baz esas alınarak hesaplanan) nem oranı, K_L sabit-effektif difüzyon katsayısıdır (Güneş, 1994).

Bu yönde ilk çalışma Lewis’indir ama Lewis de ‘bazı hallerde kurumunun yayılmayla, bazı hallerde ise yüzeyden buharlaşmayla belirlendiğini’ not etmiştir. Bu fikir sonradan Sherwood tarafından bir dizi makalede işlenmiştir. Sherwood, tuğla çamuru gibi bazı maddeler için difüzyon katsayıları belirlemiştir ama O da ‘sabun gibi bazı malzemelerde kurutma ilerledikçe, eğer deney sonuçlarına uyulmak isteniyorsa, yayılma katsayısının giderek küçüldüğünü kabul etmek gerekir’ diyerek sıvı-difüzyon teorisinin sınırlarını belirlemiştir. Sherwood ve Gilliland ve Sherwood’un sıvı difüzyon formülüyle çaştığı yıllarda Newman ise;

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (2)$$

formundaki difüzyon eşitliğinin bir dizi çözümünü vermiştir (Newman, 1931). Burada C nem konsantrasyonu, t zaman, D deneysel olarak belirlenmiş difüzyon katsayısı ve x koordinattır.

Sıvı-difüzyon teorisinde sıvı hareketinin kurutmanın her devresinde nem transferinin tek belirleyicisi olarak alınması eleştirilebilir. Sıvı difüzyon eşitliklerinin (2) nolu eşitlikteki gibi kullanılması, difüzyonun sabit sıcaklıkta olduğunun kabulü ve böylece katı içindeki sıcaklık gradyanlarının ihmal edilmesiyle özdeştir. Difüzyon teorisi büzüşmeyi, yüzey sertleşmesini gözönüne almamaktadır, bu nedenle daha yeni teorilerde difüzyon katsayısı ya anlamını yitirmiş ya da nem konsantrasyonu ve sıcaklığa bağlı ve değişik etkilerin ortak karşılığı bir değer haline dönüşmüştür (Güneş, 1994).

-Kapiler Teorisi:

Kapilerite, sıvının, bir katının çatlaklarından ve üst yüzeyinden sıvı ve katı arasındaki moleküler çekim nedeniyle akımı anlamına gelir. Bu kavram ilk defa Burckingham tarafından analiz edilerek doymamış kılcal akımın itici gücü olarak 'kapiler potansiyel' kavramı öne sürülmüştür.

Kapiler potansiyel veya emme ψ , kılcal bir çatlakta eğrisel hava-su ara yüzeyinde hava ve su arasındaki basınç farkıdır. Ara yüzeyin eğriliği suyun yüzey geriliminden oluşur. Kılcal sıvı akım eşitliği,

$$J_L = -K_H \nabla \psi \quad (3)$$

şeklindedir (Güneş,1994). Burada K_H doymamış hidrolik iletim katsayısı, ψ kapiler potansiyeldir. İzotermal koşullarda ise kapiler potansiyelin genellikle nem konsantrasyon gradyanıyla orantılı olduğu varsayılır ve (3) ifadesi

$$J_L = -K_{H\rho} \nabla X \quad (4)$$

şeklini alır. Burada ρ katının özgül kütlesi, X nem yüzdesidir (Güneş, 1994).

Doymuş gözenekli ortamda sıvı hareketlerinin incelenmesinde yüzey gerilim etkilerinin gözardı edilemeyeceğinin araştırmacılar tarafından ifade edilmesinden sonra Comings ve Sherwood da bu etkiyi anlamıştır ve kılcal olay sonucu sıvı hareketinin ve moleküler yayılma sonucu buhar hareketinin açıklanmasını içeren kısa bir not yayınlanıp kilin kurumasıyla ilgili bir dizi deney yapmışlardır. Ceaglske ve Hougan Haines'in kılcal basınç ve sıvı miktarı arasındaki bağıntı üzerine ayrıntılı çalışmasını kullanarak 2 inç kalıģındaki bir kum tabakasının kuruması esnasındaki yoğunluk dağılımını hesaplayabilmişlerdir.

Kapiler teori kurutma mekanizmasını difüzyon modeline göre daha iyi bir biçimde tanımlamasına rağmen modelin matematiksel formülasyonu oldukça karmaşıktır. Dolayısıyla elde edilen kurutma hızı modelleri birbirlerinden oldukça değişiktir ve uygulamaları da o oranda zordur.

-Krischer Teorisi:

Değişik gözenekli ortamlarda ısı ve kütle transferini analiz eden Krischer, kurutmada ısı transferinin rolünü açıklayan ilk bilim adamlarındandır ve O'nun çalışmaları, geliştirilen kurutma teorilerinin çoğu için temel oluşturmuştur (Güneş, 1994).

Krischer, nemi yüzeye ulaştıran etkinin difüzyonal etki ile kapiler etkinin toplamı olduğunu düşünmüş ve buhar fazındaki hareketin difüzyonla, sıvı fazdaki hareketin ise, kılcal boru etkisi ile olduğunu ve her iki fazda hareketin tek yönlü olduğunu kabul etmiş ve Henry'nin yazmış olduğu sıcaklık ve nem içeriği arasındaki lineer ilişkiyi kullanarak sıcaklık ve nem yoğunluğunu zamanın bir fonksiyonu olarak ifade etmiştir. Ancak, teorinin kurutma zamanını doğru bir şekilde hesaplayabilmesi için gözenekli cismin iki fiziksel özelliğinin bilinmesi gerekir. Bunlardan birincisi kapiler geçirgenlik, ikincisi difüzyonal direnç katsayısıdır.

Bu iki katsayı genellikle gözenekli cisimde gözeneklerin yapısına, sıcaklığına ve nem dağılımına bağlıdır (Güneş, 1994).

Modelin kullanılabilmesi için gerekli katsayıların fazlalığı, deneysel yöntemlerle elde edilebilme mecburiyeti, sıcaklık ve nem yoğunluğunun fonksiyonu olması ve hatta tüm bunlar sağlansa bile kurutma zamanını hesaplamak için çok karmaşık ve uzun hesaplama yöntemine ihtiyaç göstermesi Krischer teorisinin başlıca arzu edilmeyen tarafıdır.

- Philip ve De Vries Teorisi:

Krischer teorisine benzer bir yol izleyen Philip ve De Vries, gözenekli ortamda sıvı ve buhar hareketinde sıcaklık gradyanlarının etkisini açıklayan bir denklem grubu türetmişlerdir. Bu yazarların yaklaşımı da temel olarak nemin hem buhar difüzyonu hem de kılcal olaylarla hareket ettiğini varsayan bir yaklaşımdır.

Bu teori daha sonraları nemlendirme ısısının ve duyulur ısı transferinin katılması ve sıvı ve buhar fazlarında nem içeriğinin değişimlerinin ayırt edilmesiyle De Viries tarafından daha da geliştirilmiştir (Güneş, 1994).

Kolay algılanabilir fiziksel temeline rağmen difüzyon denklemlerine benzeyen denklemlerinin katsayılarının hem ancak dikkatli deneyler sonucu saptanabilmesi hem de bu yaklaşımla gerçek proses koşullarındaki kurutma olayını açıklamanın zorluğu bu teorisinin çok fazla rağbet görmemesinin başlıca nedenleridir.

- Luikov Teorisi:

Kurutmada devrim kabul edilen Luikov teorisi esas itibariyle aynı kalarak günümüzde de yaygın olarak kullanılmaktadır.

Luikov, gözenekli ortamda ısı ve kütle transferi denklemlerini oluşturmuştur. Luikov kurutma olayını açıklayacak denklemleri oluştururken nemin katı bileşeni olan buzu da göz önüne almıştır.

-Whitaker Teorisi:

Gözenekli ortamda kurutma sürecini fizik kanunlarından çıkararak en genel haliyle çözmeye çalışan Whitaker, katı, sıvı ve gaz fazlarından meydana gelen gözenekli ortam modeline hacimsel ortalama uygulamış ve 4'ü kısmi diferansiyel denklem olan 12 adet denkleme ulaşırken aşağıdaki kabulleri yapmıştır (Güneş, 1994):

Her bir fazın ısıl geçirgenliği sabit, entalpiler basınçtan bağımsız olup sıcaklığın fonksiyonudur. Sıvı fazda sürtünme, gaz fazda kimyasal reaksiyon ihmal edilir. Sıvı fazın yoğunluğu sabittir ve gaz fazı ideal gaz gibi davranır.

Sonuç bölümünde yazarında belirttiği gibi bu sınırlamaların geçerliliği ve kabullerin doğruluğu teorik ve deneysel olarak sınanmalı ve kanıtlanmalıdır. Ancak bunun zorluğuna kendisinde işaret eden Whitaker bu parametrelerin tahmini için değişik kurutma proseslerini uygun şekilde açıklayan özel teorilerin gerektiğini söylemiştir.

3.YONGALARIN KURUTULMASI

Yonga levha yapımının en önemli safhalarından birini kurutma yani yongaların kurutulması teşkil eder. Çünkü elde edilen yonga levhanın rutubet miktarı ve kullanılışı esnasında deforme oluşu bu yongaların iyi kurutulmuş olmasına aynı zamanda levha içindeki yongaların her tarafta aynı kurulukta %3-%6 (bazen (%5-12) arasında rutubette bulunmasına bağlıdır. Yongaların rutubet miktarı, tutkal tipi ve miktarı ile presten evvel yüzey tabakalarının ıslanma derecesine bağlı olarak değişik bulunmaktadır.

Son yıllarda yongaların kurutulması için çeşitli tiplerde yonga kurutucular yapılmıştır. Kurutma makinelerine sevk edilen yongaların rutubetleri genellikle %35-120 oranında olup bazen sadece %16 kadar olabilmektedir. Yongaların kalınlıkları 0,04 mm-1,0 mm veya daha fazladır. Bundan dolayı yongaların sınıflandırılması gerekmektedir. Ancak bu yapılırken yonga kaybının olmamasına dikkat etmek gerekmektedir.

Pres tekniği bakımından orta ve dış tabaka yonga rutubetlerinin farklı olması faydalıdır. Bu iki sistemle sağlanır. Ya önce her iki tabaka yongası da aynı rutubete kadar kurutulur ve levha taslağı hazırlanırken ve hazırlandıktan sonra pres saçlarına su püskürtülür veya dış tabaka yongaları daha az kurutulur. Dış tabaka yongalarının daha rutubetli olmasının bir çok faydası vardır.

1. Pres yüzeyi ile temasa gelen dış tabakanın suyu hızla buharlaşır ve bu buhar pres ısısının orta tabakaya doğru transferini kolaylaştırır ve çabuklaştırır.
2. Sıcak buharın ve basıncın etkisiyle dış tabaka yongaları plastikleşir ve düzgün kapalı bir yüzey oluşturacak şekilde sertleşirler.
3. Sıcak buharın etkisiyle direnci iyice azalan dış tabaka yongaları basıncın etkisiyle diğerlerinden daha fazla sıkışırlar. Böylece dış tabakanın özgül ağırlığı daha yüksek olur. Bu ise eğilme direncinin artmasını sağlar.

4. Dış tabakanın rutubetli oluşu pres süresini uzatmaz bilakis ısı transferi kolaylaştığı için azaltır. Ayrıca orta tabaka rutubeti düşük seçildiği için pres süresi orta tabaka rutubetine bağlı olarak kısalmır.

Yongaların içerdikleri rutubetlerinin normalden az veya çok oluşunun bazı fayda ve sakıncaları bulunmaktadır.

Yongaların rutubetleri normalden fazla ise çok rutubetli yongalar sıcak presleme esnasında yonga levhanın orta kısmında buhar kabarcıklarının teşekkülüne sebebiyet verirler. Bunlar levha preste iken uzaklaşamazlarsa levha yüzeyinin bozulmasına neden olur ve tutkalın sertleşmesini engeller.

Buna karşılık yongalar çok kuru ise şu sakıncalar ortaya çıkar :

1. Yongaların çok kuru olması kurutma makinelerinde yangın tehlikesini arttırır.
2. Yongalar pnömatik olarak taşınıyorsa tehlikeli elektrostatik yüklemeler ortaya çıkar.
3. Fabrika içinde toz miktarı artar.
4. Levha yanları alınmadan önce kenarlarında kopmalar ve kırılmalar başlar.
5. Sıcak presler kapandığında çok hafif ve fazla kuru yongalar yüzeylerden uçarak uzaklaşır.

Yongaların kurutulması, ağaç türüne, yonga boyutlarına, özellikle yonga kalınlığına, özgül ağırlığına, yongaların başlangıç rutubetine; bağlıdır. Ayrıca kurutma makinesinin tipi ve çalışma sisteminin de kurutma üzerine önemli etkisi vardır. Çok ıslak veya çok kuru yongalar ilave edilecek katkı maddelerini etkiler ve çeşitli sebeplerden dolayı da presleme süresinin uzamasına yol açar.

Aynı kurutma şartı söz konusu olduğunda kurutma süresi ağaç türü ve yonga kalınlığına bağlıdır. İğne yapraklı ağaçların yongalarının kurutulmasında genellikle 100 saniye, yapraklı ağaç yongalarında ise 200 saniye yeterlidir. Esas itibariyle kurutma şartları ısı miktarı ve yongalara ısı transferi yoluyla tayin edilmektedir. Isı transferi doğrudan doğruya temas, konveksiyon veya radyasyon yolları ile olduğu gibi bunların tümünün kombinasyonu yoluyla da olabilir.

Temas (Kontakt) yoluyla kurutmada kurutma süresi en uzundur. Halbuki konveksiyon kurutma usulü ise oldukça daha kısa zamanda kurutma sağlar. Konveksiyon yöntemi ile kurutmada yonga kalınlığı arttıkça kurutma süresi de artış gösterir. Başlangıç rutubeti %113 olan yongalarda %3 rutubete gelmek için 0,2 mm kalınlıklarda 30 saniye gerekli iken, 0,8 mm kalınlıklarda 110 saniyeye ihtiyaç vardır. Son rutubet miktarı arttıkça kurutma süresi de azalmaktadır. Çok yüksek rutubet miktarlarında kurutma hızı sabit değildir. Kurutmada ağaç türünden başka yonga büyüklüğü hava hızı ve havanın sıcaklığı da etkili olmaktadır.

Kurutma metodunu çeşitli faktörler etkiler. Bunlar aşağıda açıklanmıştır:

1. Kurutucu havadan yongalara göçen sıcaklığın eğimi
2. Yongalarla kurutucu hava arasındaki su buharı basıncı eğimi
3. Yongaların kurutulma süresi
4. Odun ve kurutucu hava arasındaki kimyasal reaksiyonların meydana geliş imkanları (yangın dahil).

Kurutma süreleri kısaldıkça daha yüksek kurutma sıcaklığı seçilir. Yüksek oksijen miktarı ve kurutucu havanın düşük su buharı miktarı için kurutma sıcaklıkları, daha düşük tutulmalıdır. Neticede kurutma süreleri artacaktır. Yongaların kurutulması konveksiyon kurutma kurallarına uygun olmak şartıyla iki kademede olur.

1. Kapiler suyun buharlaşması. Bu yaklaşık olarak sabit bir kurutma hızıyla gerçekleşir.

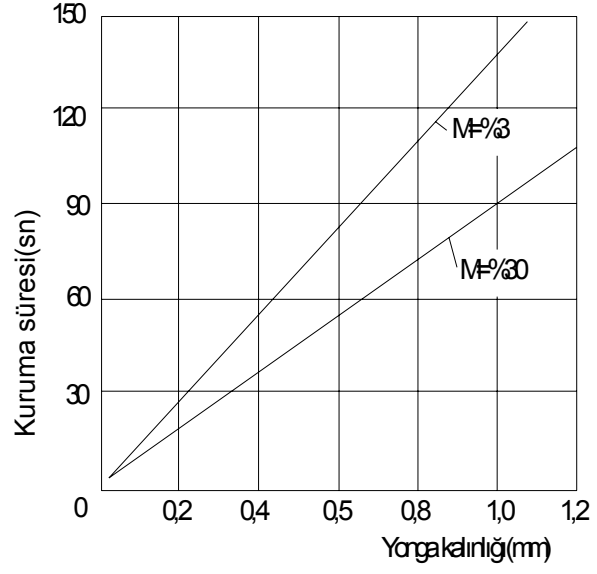
2. Buhar difüzyonu : Kurutma hızı tamamen materyalin özelliklerine bağlıdır. Halbuki kapilar suyun buharlaşmasında bunun önemi yoktur

İnce ve strüktürü gevşemiş olan yongaların kurutulmaya karşı gösterdikleri direnç fazla değildir. Bu nedenle kurutmada yüksek sıcaklık uygulanabilir. Böylece kurutma süresi kısalmır. Örneğin kurutma sıcaklığının 140°C' den 260°C' ye çıkarılmasıyla kurutma süresi % 40 azalmır.

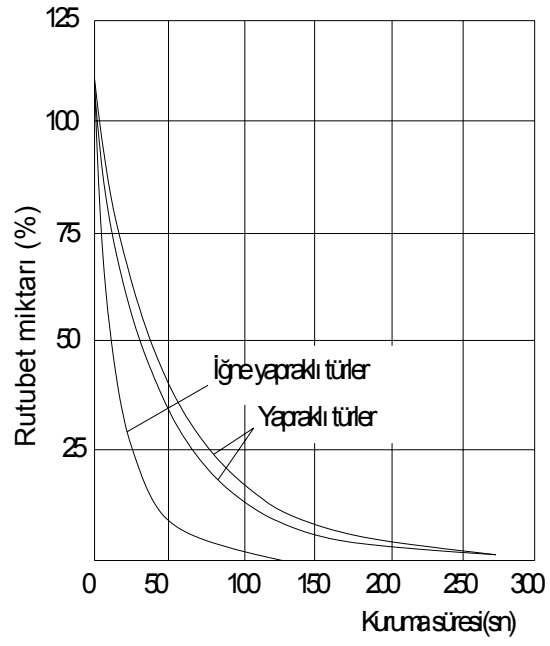
Kapiler suyun buharlaşmasında materyalin rutubet miktarının kurutmanın seyrine etkisi yoktur. Buna karşılık buhar difüzyonunda ise yongaların higroskopik özellikleri çok önemlidir.

Diğer koşullar aynı kalmak şartıyla havanın sirkülasyon hızı 1 m/sn' den 4 m/sn' ye çıkarılmasıyla kurutma süresi % 44 azalmır (Özen,1980). Şekil 2.1 de kayın yongalarının kurutulmasında yonga kalınlığının kurutulma süresine etkisi, Şekil 2.2'de ise yapraklı ve iğne yapraklı odun yongalarının kurutulmasında ağaç cinsinin kurutma süresine etkisi görülmektedir.(Bozkurt ve Göker,1990)

B. Mayer'in araştırmaları ile aynı kurutma koşullarında kaba materyalin rutubeti %25 iken ince yongaların çok fazla kuruduğu saptanmıştır. Bu sonuç, orta ve dış tabaka yongalarının ayrı kurutulmasının gerekli olduğunu doğrulamaktadır.(Bozkurt ve Göker,1990)



Şekil.21. Kayın yongalarının kurutulmasında yonga kalınlığının kuruma süresi üzerine etkisi



Şekil.22. Yonga kuruma süresi üzerine etkili olan başlangıç rutubeti ile ağaç türü arasındaki ilişki

4. KURUTUCU TIPLERİ

Yongalardaki suyun buharlaştırılması için ısı gereklidir. Isı yongaya kontakt, konveksiyon ve ışımaya yoluyla transfer edilir. Çıkan buharın uzaklaştırılması için de havanın sirkülasyonu sağlanmalıdır.

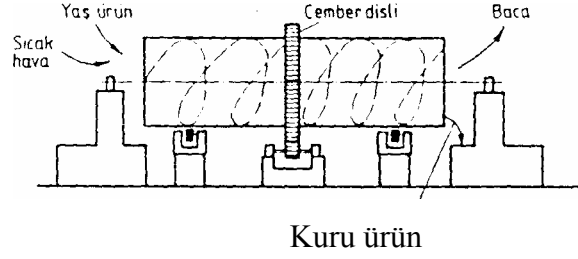
Yonga kurutma; kereste, levha ve lif levhadan daha kolaydır. Kullanılan yongalar küçük ve ufalanmış olduklarından kurutma süreleri de nispeten kısadır.

Yonga kurutucularını aşağıdaki şekilde sınıflandırmak mümkündür.

1. Döner silindirik kurutucular, döner jet kurutucular, borulu kurutucular
2. Çok bantlı kurutucular
3. Kontakt kurutucular
4. Türbinli kurutucular
5. Yanık gaz kullanan kurutucular
6. Süspansiyon tipi kurutucular

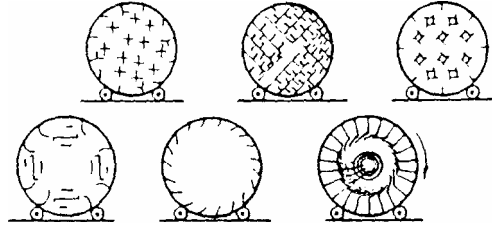
4.1. Döner Silindirik Kurutucular, Borulu Kurutucular, Döner Jetli Kurutucular

Döner tip silindirik kurutucular, az bir eğimle yerleştirilmiş yatay silindir şeklindedir. Silindir 1-15 min⁻¹ devirle döndürülür.



Şekil 3.1. Döner tip silindirik kurutucu

Döner tip silindirik kurutucular aynı yönlü veya zıt yönlü akışlı olarak yapılabilirler. Genellikle 150-350 °C sıcaklıkta hava akımıyla çalıştırılan bu tip kurutucularda, kuruma hızını artırmak amacıyla silindirin iç yüzeyi kanatçıklı yapılır. Kurumakta olan yonga, bu kanatlar yardımıyla silindirin dönüşüne bağlı olarak kaldırılıp, esmekte olan sıcak havanın içine, üstten aşağı doğru bırakılır. Sıcak hava akımının içinde aşağı doğru düşmekte olan yonganın dış yüzeyinin tümü hava akımının etkisi altında kalır. Bunun sonucunda ısı ve kütle iletim hızları büyüdüğünden kuruma çabuklaşır.(Bozkurt ve Göker,1990)



Şekil 3.2: Kurutucu silindiri içindeki kanatlar

Bu tip kurutucularda, silindirin aktif uzunluğu, kurutulacak materyale ve buharlaşacak su miktarına bağlı olarak belirlenir. Kurutma silindiri boyunun çok uzun olması gerektiğinde, silindir, birbiri içine girecek daha kısa silindir parçaları şeklinde yapılarak, bu parçalar, iç içe yerleştirilip silindir uzunluğu kısaltılır. Yonga levha endüstrisinin ilk zamanlarında döner silindireli kurutucular kullanılmıştır. Esasen bunların da çok çeşitli tipte olanları vardır. Silindirin iç kısmına yelkovan şeklinde ve pervane vazifesi görecek levhalar tespit edilmiştir. Silindir döndüğünde

bu levhalar, yongaların silindir boşluğu içinde eksene paralel yönde ve sıcak gaz akımı boyunca hareket ederek boşaltma ucuna doğru ilerlemesini sağlarlar. Kurutma için gerekli sıcak gazları elde etme de otomatik bir brülörden yararlanır. Bununla beraber maden kömürü, gaz, yağ veya gaz ile karışık testere tozu yakıt olarak kullanılır. Bu usulde kurutma süresi uzun olup tahminen 30 dakikadır. Zaman zaman silindir içindeki spiral levhaların temizlenmesi gerekmektedir. Bu işlemde kolay değildir.(Bozkurt ve Göker,1990)

Üç kanallı kurutucularda aerodinamik geliştirmelerle yonga taşınmasının pnömatik gücü artırılır. Böylece kurutma süresi 8-20 dakikaya inebilir. Bu tip kurutucular özellikle düşük rutubetli odun artıklarından elde edilen yongalarda elverişli olup Amerikan yonga levha endüstrisinde kullanılmaktadır.

Horizontal borulardan bir demet halinde meydana getirilmiş olan kurutucular basit olup verimli ve emniyetlidir. Isı tüketimi nispeten azdır. Almanya'da imal edilen bu boru demetlerinden meydana gelmiş PONNDORF kurutucular çok sayıda yonga levha fabrikasında kullanılmaktadır

Özellikleri şunlardır :

1. Kurutucu madde çoğunlukla sıcak sudur. Ancak su buharı veya atık gazlarda kullanılır.
2. Isı, borulara eşit bir şekilde gönderilir. Yongalardan bir kg suyun buharlaştırılması için maksimum 750 kcal sarf edilir. Bunun sonucu olarak ısı tüketimi azdır.
3. Ortada dönen kısmın çevresine belli aralıklarla tespit edilmiş levhalar hafif meyillidir. Böylece sadece yongaların karıştırılması değil aynı zamanda da ileri doğru taşınması sağlanmış olur. Esasen yongalar pnömatik bir şekilde hareket ettiği

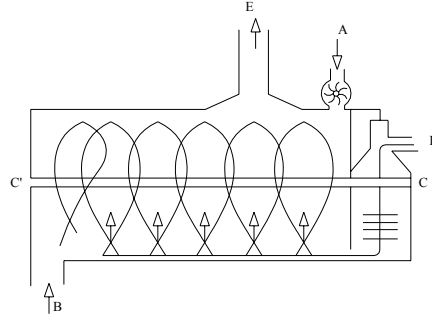
için dönen silindire tespit edilmiş meyilli levhalar kurutucu içine soğuk havanın girmesini önlemektedir.

4. Kapakların arkasında kontrolü ve yonga akışını ayarlamak üzere pencere vardır. Çıkan yongalar çok ıslak ise taze hava 80-90 °C' ye kadar önceden ısıtılır. Sıcak suyun giriş sıcaklığı 185°C, çıkış sıcaklığı ise 170 °C' dir. 7 m uzunluktaki bir kurutucuda gerekli elektrik gücü 5,5 kW/h' tir. Özellikle yangını önlemek için başlık kısmına otomatik çalışan ve termostatlı yağmurlama tertibatı monte edilmiştir.

Çalışma sistemi şöyledir. Yüksek sıcaklığa dayanıklı borulardan yapılmış olan demet (serpantin) makinenin alt kısmında dönmektedir. Bu boru demeti, levhası, başlık, mil, radyal kanatlar (kürekler). ve kanat taşıyıcıları ile bir bütün oluşturmaktadır. Isıtıcı olarak kullanılan sıcak su buhar veya yanık gaz mil boşluğundan girerek dağıtma tertibatı tarafından tüm borulara eşit ölçüde dağıtılır ve arka milin ortasından çıkar.

Bir silonun altında bulunan keçeli çark tarafından makineye verilen yongalar kürekler tarafından devamlı aktarılır ve çıkışa doğru taşınmaktadır. Toz ve su buharından oluşan karışım ise bacadan dışarıya atılır. Boru demetinin devir sayısı kademesiz olarak ayarlanabilir. Böylece yonganın başlangıç rutubetine uyma olanağı sağlanmış olur. Devir sayısının ayar olanağı %50'dir. Bir kg suyun buharlaştırılması için 750 kcal gereklidir. Bir saat içerisinde yaklaşık 600 kg su buharlaştırılır.

Rotasyon kurutucu olarak isimlendirilen diğer bir boru demetli kurutma fırını B. SCHILDF: firması tarafından yapılmış olup, yonga levha fabrikalarında yaygın şekilde kullanılmaktadır. Şekil3.3' de kurutma fırınının şeması görülmektedir (Özen,1980).



Şekil 3.3 Yonga levhaları Endüstrisinde alt ve üst tabakada kullanılan yongaların kurutulduğu SCHILDE marka kurutma makinesinin şeması görülmektedir.

Ufalama makinesinden gelen ufalanmış yongalar (A) ile gösterilen bir Aspiratör vasıtası ile fırına girmektedir. Kurutucu gövde sabit olup gövde içinde (C-C') ile gösterilen bir ana mile bağlı çok sayıda kollar bulunmaktadır. Başkaca, bu kolların uç kısımlarında yongaların karıştırılma işlemini gerçekleştiren ve pabuç tabir edilen yassı metallere yer almaktadır. Ana milin ekseni etrafında 3 kW/h' lik bir elektrik motoru ile dakikada 25 devir dönmesi sonucu nemli yongalar pabuçlar vasıtası ile kurutucunun girişinden çıkışına doğru spiral bir şekilde yol almaktadır. Bu esnada fırında ısıtılan sıcak hava (fırının sıcak hava karışım odasında en fazla ısı 380 °C bulunmaktadır). (D) noktasından hareket ederek silindirik şeklindeki kurutucu gövdenin ön yüzeyinden veya gövdenin yan tarafından girerek yonga ile temas sağlamakta ve onu kurutmaktadır.

Kurutucu gövde ana milinin devir sayısı sabittir. Çeşitli rutubetteki yongayı belirli bir rutubet derecesine indirmek için kurutucu gövdeye sıcak havanın giriş yerlerine kapaklar konmuştur. Kapakların görevi ise sıcak havanın kurutucu içindeki yönünü belirli programlara göre tespit ederek kurutucu içindeki yongaların yeknesak bir şekilde kurutulmalarını sağlamaktır. Kuruma esnasında yongaların içerdiği sudan

oluşan buharlar (E) bacasından dışarı atılmaktadır. Yongalar fırının (A) ile gösterilen yaş yonga girişinden (B) ile gösterilen kuru yonga çıkışına ulaşınca kadar içerdiği rutubet miktarı %3-5' e kadar indirilmiş olmakta ve fırın devamlı bir şekilde kurutma işlemini gerçekleştirmektedir.

Kuruyan yongalar kurutucu gövde çıkış ağzından bir aspiratör ile emilerek separatör' e gönderilir. Separatörde yonga ile ayrılan sıcak hava tekrar emilmek suretiyle kurutucunun ısıtılması için dışarıdan alınan taze hava ile birleştirilmek suretiyle hava karışım odasına sevk edilmekte ve burada ısı tekrar geri alınarak kurutma fonksiyonunu gerçekleştirmek üzere tekrar kurutma fırınına gönderilmektedir. Böylece taze hava emişi ve ısıtılması en düşük seviyeye indirilmiş olur. Fırın günde 22 saat çalışmak suretiyle 150 m³ yongayı kurulabilmektedir.

4.2. Çok Bantlı Kurutucular

Yonga levha endüstrisinin kuruluşunun ilk yıllarında 3 veya 5 bantlı kurutucular çok kullanılmıştır. Bu tip kurutucular esasen küçük kapasiteli fabrikalar için uygundur. Gerekli güç 10-34 kW, (13,6-6-46, 2 HP) olup, 1 kg suyun buharlaştırılması için 820-960 kcal' ye ihtiyaç vardır.

Kanala benzer bir gövde içerisine tel örgüden yapılmış hava geçirebilen sonsuz transport bantları üst üste biraz ileri veya geri olmak üzere yerleştirilmiştir. Bantlar zıt yönlerde hareket ederler. En üstteki bantın üzerine dökülen yongalar, bant üzerinde makineyi boydan boya kat ettikten sonra bir alttaki bantın üzerine dökülürler. Böylece, yongalar en alttaki banda kadar ulaşırlar. Ve makinenin dışındaki bir sonraki transportöre veya depoya verilirler.

Makinenin tabanında dökülen yongaları toplayıp uzaklaştırmaya yarayan bir kazıyıcı bant vardır. Genellikle üstteki bantların hızı alttakilerden daha fazladır. Böylece üsttekilere dökülen yongaların yüksekliği daha az, alttakilere dökülen, kurumakta olan yongaların yüksekliği ise daha fazladır. Hava, sıcak su borularıyla

ısıtılır. Hava sirkülasyonu vantilatörlerle sağlanır. Kapasiteleri saatte yaklaşık 1600 kg kuru yongadır. %65 rutubetteki yongaların %5'e kadar kurutuldukları kabul edilirse bir saatte 960 kg su buharlaştırılır.

Kurutma süresi bantlar üzerindeki yonganın yüksekliğine, yonganın makineye giriş ve çıkışındaki rutubetine bağlı olarak 3-6 dakikadır.

Bu kurutucuların üç sakıncası mevcuttur.

1. Delikli bantlı taşıyıcılar (konveyörler) yırtılma ve elek ağının bozulması sonucu güçlükler çıkartmaktadır.
2. Bantlı kurutucular nispeten fazla miktarda yonga ihtiva ederler. Bundan dolayı yangın esnasında kontrol imkanları ortadan kalkmaktadır.
3. Çok bantlı kurutucuların kapasiteleri sabittir. Kullanılan bantların uzunluğu 10000 mm, genişliği 2760 mm, yükseklikleri 3300 mm ve kurutma sıcaklığı 120°C olup, artırılmamaktadır.

4.3. Kontakt Kurutucular

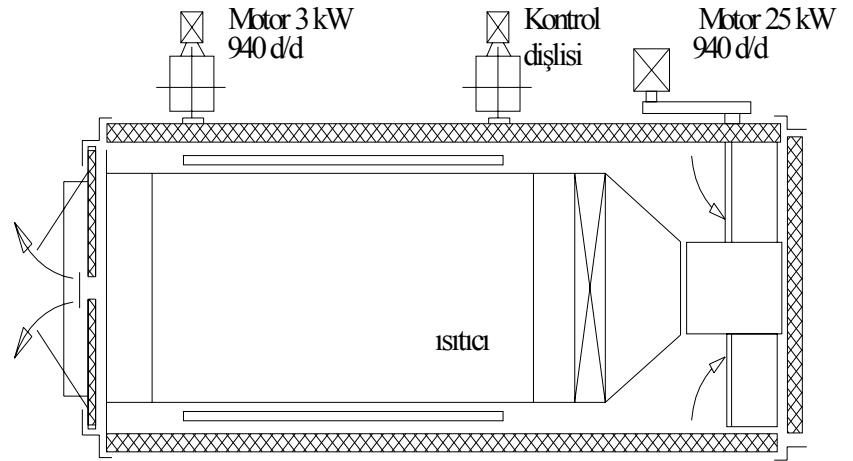
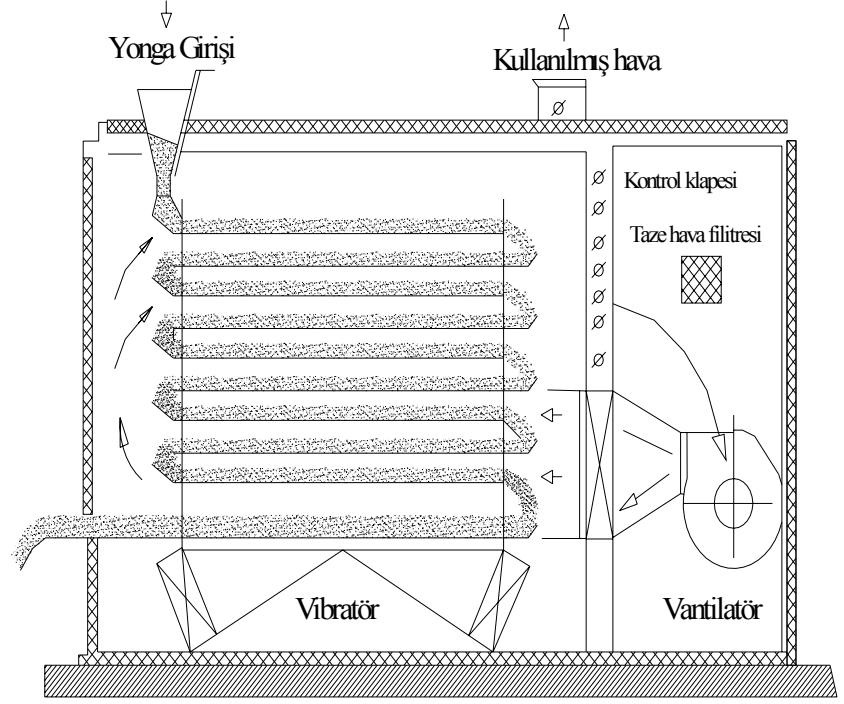
Bu tip kurutucularda kurutulacak yongalar makinenin üst tarafında-mevcut huni şeklinde bir kısımdan içeri alınır ve bir vibrasyonlu levha üzerinde ileri doğru hareket ederler. Vibrasyon hızını ayarlamak mümkündür, ilk vibrasyon levhası sonuna gelen yongalar buradan alttaki vibrasyon levhası üzerine düşerler. Ancak, bu taktirde aksi yönde hareket ederler. Böylece devam ederek yongalar üzerinde boyuna ve dikine yönde sıcak hava akışının etkisinde bırakılarak kurutulurlar. Şekil 3.4.

Bu sistemin faydaları şunlardır:

- a) Sistem basit olup ısı izolasyonu iyidir.
- b) 1 kg suyun buharlaşması için 950 kcal ısı gereklidir.
- c) Gerekli güç düşük nispettedir (Vibrasyon ve Vantilatör için).
- d) Tam ve yeknesak kuruma sağlanmaktadır.

Kontakt kurutma sistemi ile çalışan diğer bir tip makine tamburlu kurutma makinesidir.

Bu makineler içi boş ve ön tarafa doğru hafif meyilli ve kendi ekseni etrafında dönebilen bir silindirden ibarettir. Silindirin çapı 0.8-1.8 m arasında değiştiği gibi boyu çapının 4-6 misli kadar olabilir.



Şekil 3.3.1 Yongaların kontak kurutucularda kurutma şeması

Silindir birkaç kasnak tarafından taşınmakta olup tam ortada bir tane dişli çember bulunmaktadır. Bu başka bir dişli tarafından tahrik edilmekte ve böylece tamburun dönüşü sağlanmaktadır. Devir sayısı 1-15 d/dakikadır.

Silindirin ve yongaların ısıtılmasında kullanılan sıcak gaz yanma odasından sağlanarak silindire bir uçundan verilir. Aynı uçtan yongalarda verilmektedir. Dönme hareketi ve meyil sayesinde yongalar öbür uca doğru ilerlerler. Yongaların karıştırılması silindir içine yerleştirilmiş metal parçalarla sağlanır.

Tüm yonga kurutma makinelerinde olduğu gibi yongalarla gaz akımının yönü aynıdır. Bunun nedeni yüksek rutubetli yongaların başlangıçta yüksek sıcaklıkla karşılaşmalarıdır. Makinenin sonuna doğru hem gazın sıcaklığı düşer, hem de yonga rutubeti azalır. Yonga sıcaklığı ise tutuşma noktasına kadar yükselmemiş ve böylece yüksek kurutma sıcaklığı uygulama olanağı sağlanmış olur (Özen, 1980).

4.4. Türbinli Kurutucular

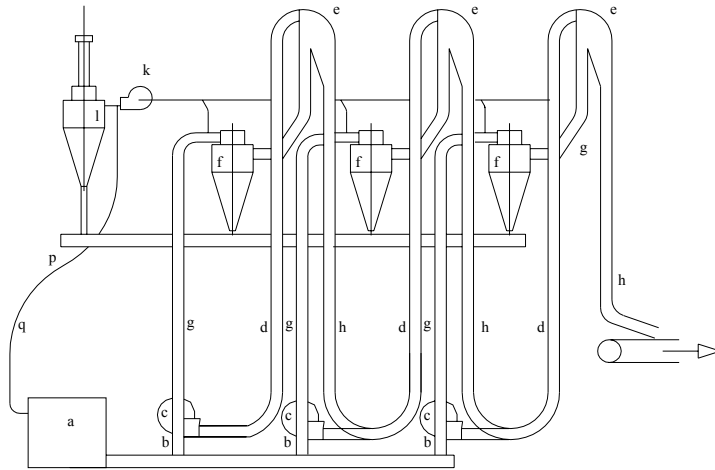
Bu tip kurutucular silindirik biçimde olup, ısıtıcılar, akışı sağlayan türbinler, meyilli levhalardan ibaret döner tablalar ile dakikada 0.1-1.0 defa dönüş yapmayı sağlayan döner tablaları çalıştıran motorlardan ibarettir. Her bir dönüşten sonra yongalar tablanın eğilmesi ile alttaki tablaya düşmektedir. Böylece yongalar en alt tablaya kadar ulaşır ve sonra makineden boşaltılır. Bu işlemle yongalar karıştırıldığı gibi aynı zamanda sıcak hava ile temasa geçirilmekte ve kurutulmaktadır.

Buharla ısıtma halinde kurutucu içinde ortalama sıcaklık yaklaşık olarak 100°C olup, dışarı atılma esnasında 90°C 'dir. Sıcak su ile ısıtma sisteminde ise girişte 180°C, çıkışta 160°C sıcaklık gereklidir. Sıcak su sisteminde yongalardan 1 kg suyun buharlaştırılması için 900 kcal' ye ihtiyaç vardır. Tablalar üzerinde yonga kalınlığı 40-50 mm olup kurutma süresi; kullanılan sıcaklık derecesi, rutubet miktarı, yongaların tipi ve ağaç türüne bağlı olarak 15-45 dakika arasında değişmektedir.

4.5. Atık Gaz Akımlı Kurutucular

Kaide olarak bu tip kurutucular bir ön kurutma makinesi olarak kullanılırlar. Yüksek rutubetli (%60 ve üzeri) yongaların %9 rutubete kadar kurutulması tip kurutuculardan yararlanılmakta ve diğer bir tip kurutucu ile kombine edilmektedir. Kurutma süresi 20-25 saniye (%9 için) olup, yüksek üretim hızına sahiptir. 1 kg suyun buharlaşması için 900 kcal' ye ihtiyaç vardır ve çalışma gücü 6 kW ve fuel-oil tüketimi saatte 180 kg' dır. Konstrüksiyonu ve bakımı basittir. Az yer kaplar, otomatik olarak kontrol ekipmanı mevcuttur.

Yanık gaz (b) borusunda sisteme verilir, (c) vantilatörü tarafından gaz yonga ile birlikte (e) dönemecine kadar gelir. Burada kısmen kurumuş olan yongalar (h) borusunda bir sonraki kurutma kademesine intikal ederken, toz ve kullanılmış gaz (f) siklonuna gelir. Burada her ikisi birbirinden ayrılır ve kullanılmış gaz (e) vantilatörü tarafından (g) borusu üzerinden emilerek tekrar (d) borusuna yonga ile birlikte sevk edilir. Diğer kademelerdeki



Şekil 3.5. : Gaz sirkülasyonlu kurutma makinesi.

- | | |
|-----------------------|-----------------------------------|
| a. Yanma odası | i. Kullanılmış gaz donanımı |
| b. Yanık gaz girişi | k. Kullanılmış gaz vantilatörü |
| c. Vantilatör | l. Siklon |
| d. Çıkış boruları | m. Yonga girişi |
| e. Dirsek | n. Yonga çıkışı |
| f. Siklon | o. Toz transportörü |
| g. Gaz dönüş borusu | p. Toz çıkışı |
| h. Yonga dönüş borusu | q. Kullanılmış gaz karışım borusu |

dolaşımda aynıdır. Sonuncu kademenin (h) borusundan kurumuş olan yonga transportöre verilir, (f) siklonlarından şinekeye gelen toz ise onun tarafından (p) çıkışına kadar taşınırlar, iki kademeli böyle bir kurutma makinesinde kurutma süresi 20-25 saniye kadardır.

4.6. Süspansiyon Tip Kurutucular

Bu tip kurutuculara çeşitli örnekler verilebilir. Bunlardan bir örnek Bronswerk kurutucusu esasen pnömatik bir kutucudur. Sıcak gazlar yanma odasında elde edilir. Vantilatörler taze sıcak gaz ile kullanılmış gazın karışımını sağlar ve bunların yanma odasına sev kine yardım ederler. Sıcak gazlar, kurutma bölümüne giren rutubetli yongalar, döner tertibatlı bir kısımdan içeri alınır.

Döner bir kafese tespit edilmiş radyal levhalar hava - yonga karışımının radyal yönde ilerlemesini sağlarlar. Bununla birlikte eksene paralel akışı sağlayan tertibat kurutma silindiri içinde spiral dönüşlü bir hava akımına sebebiyet vermektedir. Kurutucunun birinci kısmı sadece kurutma işini görmekte ise de ikinci kısım hem kurutma hem de yongaların sınıflandırılmasını gerçekleştirmektedir. Birinci ve ikinci bölümdeki döner kafesler bu maksatla vazife görürler. Kuruyan yongaların normal boyutta olanları bir yerden, çok ince olanları da diğer boşaltma yerlerinden dışarı alınırlar.

KELLER firmasının imal edilmiş olan bir başka süspansiyon yonga kurutma makinesi çok hızlı döndürme esasına göre yapılmış bir kurutucudur. Yukarıdan ıslak yongalar makineye alınırken yükselen sıcak gaz akımı ile karşılaşılır. Bu gaz akımı çok hızlı dönüş veren bir etki meydana getirir. Ve aynı zamanda yongaları havada asılı bir halde tutar. Zamanla ağır olanlar makinenin aşağı kısmına elek üzerine düşerler. Elek üzerinde yongaların arasından yavaş yavaş hareket eden mekanik bir karıştırıcı yongaları sürükleyerek boşaltma yerine götürür. Bunlar kaba yongalar olup, inceltme makinelerine sevk edilir.

Normal büyüklükteki yongalar ise süspansiyon halde kalırlar ve kuruyarak rutubet kaybettikleri için daha da hafifler ve yükselerek siklon yardımı ile taşınacak yere giderler. Bu tip kurutucular tek safhalıdır. Ancak bunların çift safhalı (kademeli) olanı da yapılmıştır.

BÜTTNEN- SCHILDE-HAAS firmasının süspansiyon tip kurutma makinesinde de rutubetli yonga evvela bir ön kurutma bölümüne alınır. Oradan aşağı inen yongalar ısıtılmış hava ile karşılaşmakta ve sıcak hava ile birlikte yukarıya çıkmaktadır. Büyük yongalar aşağı düşmekte ve bir elekten geçerek vidalı konveyörlerle dışarı alınmaktadır. Normal büyüklükteki yongalar hava ile birlikte kulenin üst kısmına çıkmakta ve içinde döndürücü levhaların bulunduğu düşme bacasından aşağı doğru inmektedir. Baca içindeki döndürücü levhalar yonga hava karışımına iyi bir şekilde dönme hareketi sağlarlar. Böylece yongalar kurutulur ve sonunda sonsuz elekli ve bantlı konveyör ile dışarı alınırlar. Elek deliklerinden diğer daha ufak yongalar ise alttaki bir başka konveyör ile dışarı alınır. Sirküle eden hava ya tekrar kullanılmak üzere hava ısıtıcısına gönderilir, veya kullanılmış hava bacasından dışarı atılır. Bu tip süspansiyon kurutucuların kapasitesi saatte 70 kg su buharlaştıracak şekildedir. Oldukça yüksek bir yapıya sahiptir. Yeni fabrikalarda nadiren kullanılmaktadır.

Son zamanlarda döner jetli kurutucular daha modern makineler olarak piyasaya sürülmüşlerdir. Bunlarda yongayı ayırma etkisi de mevcuttur. Konik haldeki jetli bir tüp, ısı izolasyonu mevcut bir silindirik kurutma odası içerisinde dönmektedir.

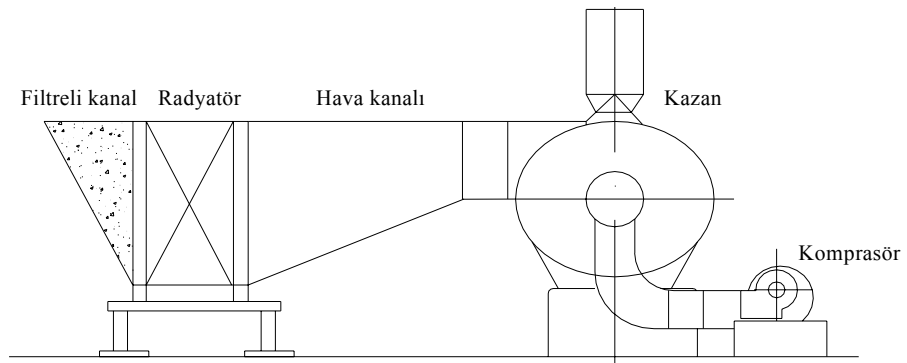
Jet açıklıkları o şekilde ayarlanmıştır ki, giren yongalar çıkış tarafına doğru spiral bir akışa uymaktadırlar. Döner jetli tüpün çevresi boyunca yerleştirilmiş bulunan pencere kanatları kurutulacak yongaların havada tutulması ve kıvrılarak hareketini sağlarlar. Neticede yüksek bir termik verim ve bunun sonucu olarak da çok kısa bir kurutma süresi elde edilmektedir. Kaba yongalar döner tüpün sonundan dışarı alınmaktadır, ince ve hafif yongalar önde, daha kalın olanlar arkada olacak şekilde hava akımına uyarak ayırma siklonuna taşınırlar. Oksijence fakir olan sıcak gazlar yanma odasından elde olunmaktadır. Burada gaz, fuel-oil veya yağ-odun tozu karışımı yakılmaktadır. Kullanılmış gaz, ya dışarı atılmakta veya bir vantilatör yardımı ile sınıflandırmayı sağlayacak hava olarak yine makineye tatbik edilmektedir. Ya da tekrar kullanılmaktadır. Bu tip kurutucuların 17-66 kW gücünde olanları vardır. Bir kg suyun buharlaşması için 850 ve 900 kcal'e ihtiyaç vardır.(Bozkurt ve Göker,1990)

5.MATERYAL VE METOT

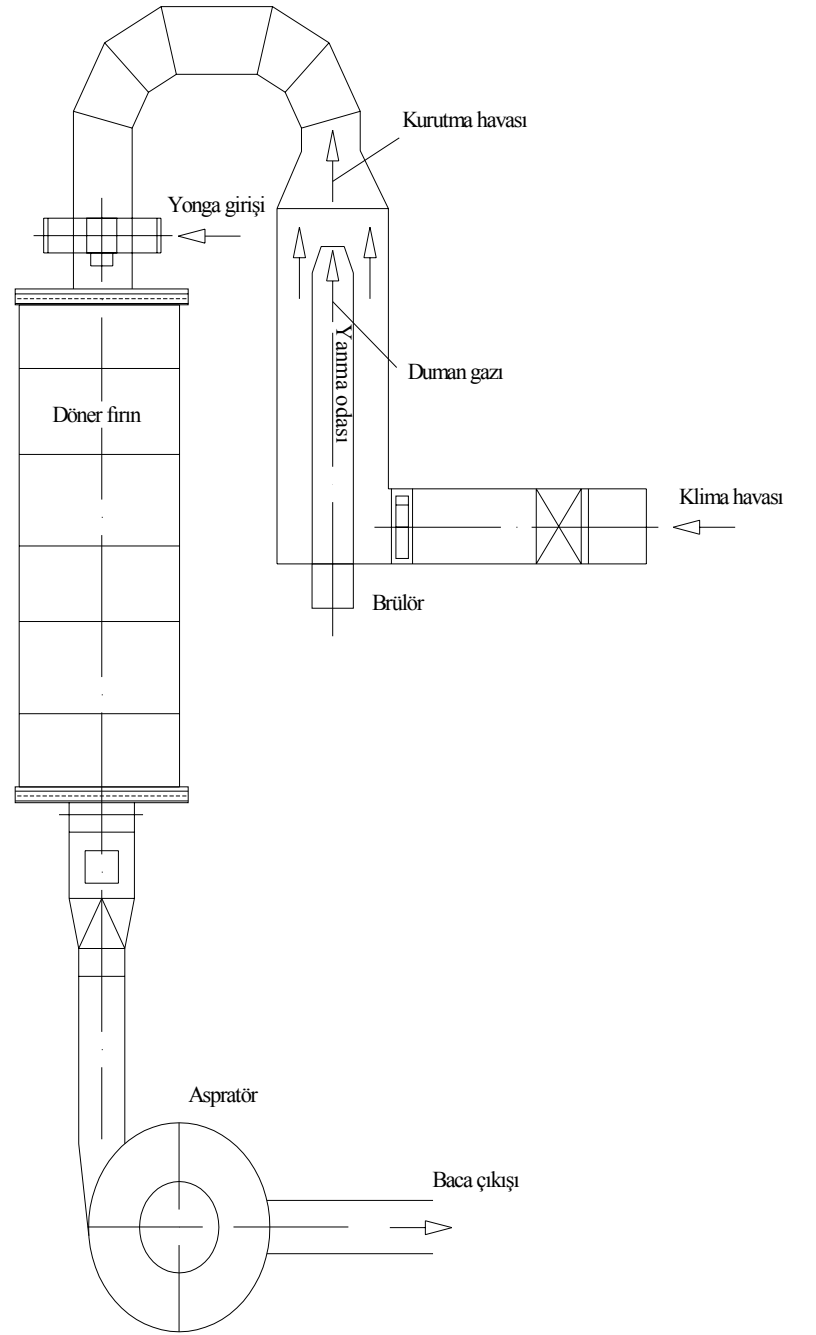
5.1. Materyal

Yonga levha üretiminde kullanılacak yongaların rutubetinin % 2,5-3 gibi sınırlanması istenmiştir. Bunun için şekil 4.1’ de görülen klima sistemi destekli bir kurutma sistemi kurulmuştur.Şekil 4.2.

Kurutma için ocağın ilk montajında fuel –oil yakma brülörü kullanılırken, petrol fiyatlarının hızla artması ve fabrikanın kendi atığı olan, günde on iki ton çıkan zımpara tozunun değerlendirilmesi açısından toz yakma brülörü satın alınmış ve böylece bu ocakta toz yakışına geçilmiştir. Ocakta tozun yanmasıyla ortaya çıkan duman gazı, yanma odası dış gömleğinden sıcak hava enjektesiyle karışarak döner fırına sevk edilir. Bu sıcak havayı kızgın yağ ile havayı ısıtan klima düzeneği sağlamaktadır.Şekil 4.1.



Şekil 4.1 Klima sistemi



Şekil 4.1 Klima sistemi

Şekildeki sistemle kızgın yağ tesisatından iki yollu motorlu vanayla çekilen yağ radyatörün üst kısmından girer alt kısmından çıkarak kızgın yağ tesisatının dönüş hattına verilir. Aspiratör emişiyle Radyatörün içerisinden geçirilen hava ısınır, yanma odası gömleğinden girerek ocak çıkışında duman gazıyla karışır. Böylece kurutma havası, duman gazı ve hava karışımıyla sağlanır. Döner fırın girişinden ıslak talaş ile bu kurutma havası aspiratör emişiyle girer. Döner fırın içerisinde kurutma havasıyla birlikte sürüklenen ıslak talaş rutubeti düşerken kurutma havası rutubeti artmaktadır. Döner fırın sonundaki aspiratör kurumuş olan talaşı ve rutubetlenmiş kurutma havasını döner fırından emerek siklonlara basar. Talaş siklonlara dolarken rutubetli hava atmosfere atılır. Döner fırın iç içe geçmiş silindir şeklinde imal edilmiş bu sayede silindir boyu kısa tutulmuştur. Döner fırın içinde talaşın ve kurutma havasının hareketi tamamen döner fırın sonundaki aspiratörün emişiyle sağlanmaktadır.

Klima sistemi devredeyken kurutma havasının döner fırına giriş sıcaklığı 340°C, buradan çıkış sıcaklığı 130°C, yonganın döner fırına giriş rutubeti %27, buradan çıkış rutubeti ise %2,5 tur. Klima havasının klimadan çıkış sıcaklığı da 137,5°C olmaktadır.

Ocakta ise saatte $m_{\text{yakıt}} = 375,5$ kg toz yakılarak 698°C' de duman gazı üretilmektedir.

5.2Metot

5.2.1. Kurutucu Ocağı İçin Yakıt Analizi ve Yanma Denklemleri

Kurutucu ocağında ısı enerjisi sağlamak için yonga levhanın zımpara tozu yakılmaktadır. Bu yakıtın ısıl değerleri ve gerekli hava miktarı hesaplanırsa;

Toz yakıtın ağırlıkça elementer analizi

$$C= 0,50$$

$$H_2=0,06$$

$$O_2=0,43$$

$$N_2=0,002$$

$$Kül=0,008$$

Yanma Denklemleri:



12 kg C'ü yakmak için 32 kg O₂ gerekmekte ve 44 kg CO₂ oluşmakta ise 0,5kg C için 1,33 kg O₂ gerekmekte ve 1,83 kg CO₂ oluşmaktadır.

$$X_{O_2} = 1,33 \text{ kg}$$

$$X_{CO_2} = 1,83 \text{ kg}$$



2 kg H₂ 'yi yakmak için 16 kg O₂ gerekmekte ve 18 kg H₂O oluşmakta ise 0,06 kg H₂ 'yi yakmak için 0,48 kg O₂ gerekmekte ve 0,54 kg H₂O oluşmaktadır.

$$X_{O_2} = 0,48 \text{ kg}$$

$$X_{H_2O} = 0,54 \text{ kg}$$

1 kg yakıtı ocakta yakmak için gerekli O_2 miktarı ise;

(1) denklemden C yakmak için gereken O_2 miktarı : $X_{O_2} = 1,33$ kg ile

(2) denklemden H_2 yakmak için gereken O_2 miktarı : $X_{O_2} = 0,48$ kg toplamıdır.

$$O \text{ halde } 1,33 + 0,48 = 1,81 \text{ kg}$$

Kendi bünyesinde bulunan O_2 miktarı 0,43 kg toplam değerden çıkarılırsa;

$$1,81 - 0,43 = 1,38 \text{ kg } O_2 \text{ yakma havasıyla girmesi gerekir.}$$

$$\text{Gerekli teorik hava miktarı} = \frac{\text{yakma havası ile giren } O_2 \text{ miktarı}}{\text{hava içindeki } \% O_2 \text{ miktarı}} \quad (7)$$

O_2 'nin hava içindeki ağırlıkça oranı %23,15 'tir. Bu değerler (7) denkleminde yerine yazılırsa;

$$\text{Gerekli teorik hava miktarı} = \frac{1,38}{0,2315} = 5,96 \text{ kg hava/kg yakıt}$$

Olmaktadır Isparta için ortam havasının meteorolojik değerlerinden, 90 kPa basınç $13^\circ C$ sıcaklık ve %52 bağıl nem değerleri için havanın özgül nemi hesaplanırsa;

$$x_h = 0,622 \frac{\Phi \cdot P_d}{P - \Phi P_d} \quad (8)$$

$$P = 90 \text{ kPa}$$

$$\Phi = \%52$$

$$P_d = 1,5 \text{ kPa (Çengel ve Boles,1999)}$$

Bu değerler (8) denkleminde yerine yazılırsa;

$$x_h = 0,622 \frac{0,52.1,5}{90 - 0,52.1,5} = 0,0054 \text{ kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{kuru hava}}$$

bulunur.

Gerekli teorik hava miktarının içinde;

$5,96.0,0054=0,032 \text{ kg}_{\text{su}}$ bulunmaktadır. Bu su miktarı da gerekli teorik hava miktarı içine katılırsa, gerekli teorik nemli hava miktarı bulunur.

Gerekli teorik nemli hava miktarı ise;

Gerekli teorik nemli hava miktarı=Gerekli teorik hava miktarı + nem miktarı (9)
İfadesine göre $5,99 \text{ kg}_{\text{hava}}/\text{kg}_{\text{yakıt}}$ olmaktadır.

Bu demek oluyor ki 1kg tozu yakabilmek için teorik olarak 5,99 kg nemli havayı ocağa vermek gerekir.

5.2.2. Yanma Havası Miktarlarının Hesaplanması

Ocağa üç şekilde hava girişi olmaktadır.

-İlki ocağa toz yakıtın taşınması ile giren hava miktarı: $484 \text{ m}^3/\text{h}$

-İkincisi brülörden gelen yakma havası miktarı:

Ocağa giren yakıt miktarına göre hava miktarı da doğru orantılı olarak değişmektedir.

$[4740-9780] \text{ m}^3/\text{h}$ hava miktarı aralığında, $[300-1350] \text{ kg} /\text{h}$ yakıt debileri kullanılmaktadır. $375,5 \text{ kg} /\text{h}$ yakıt debisi için $5012 \text{ m}^3/\text{h}$ nemli hava ocağa verilmektedir.

-Üçüncüsü brülör arkasındaki deliklerden giren hava miktarı:

Brülör arkasındaki deliklerden aspiratörün vakumu ile yanma odasına hava girişi olmaktadır. Burada;

Delik sayısı : $z = 8$

Delik çapı : $R = 50\text{mm}$

Hava hızı : $U = 32,6 \text{ m/s}$

Delik kesit alanı: A

olduğu dikkate alınarak delik kesit alanı;

$$A = \frac{\pi \cdot R^2}{4} \quad (10)$$

denkleminde $0,001963 \text{ m}^2$ bulunur.

Deliklerden yanma odasına giren hava debisi ise şu formülle bulunur.

$$V = z \cdot A \cdot U \quad (11)$$

(11) denkleminde değerler yerine yazılırsa $V = 0,512 \text{ m}^3/\text{s}$ ($1843 \text{ m}^3/\text{h}$) bulunur.

-Toplam yanma havası miktarı ise:

Ocağa giren toplam hava miktarı; toz yakıtın taşınması ile giren hava miktarı, brülörden gelen yakma havası ve brülör arkasındaki deliklerden emilen havanın toplanmasıyla bulunur.

$$V_T = 5012 + 1843 + 484 = 7339 \text{ m}^3/\text{h}$$

m^3/h hacimsel debisini kg/h kütleli debisine çevirmek için;

$$P.V = n .R.T \quad (12)$$

(12) denkleminde 90kPa basınç, 13 °C sıcaklık ve 1kmol için havanın hacmi hesaplanırsa;

$$P = 90 \text{ kPa}$$

$$T = 273+13 = 286 \text{ K}$$

$$n = 1 \text{ kmol}$$

$$R = \text{genel gaz sabiti } 8,314 \text{ kJ / (kmol.K)}$$

(12) denkleminde yukarıdaki değerler yerine yazılırsa;

$$90.V = 1. 8,314. 286$$

$$V = 26.4 \text{ m}^3 \text{ bulunur.}$$

1kmol nemli havanın ağırlığı 28,8 kg olduğuna göre;

$$m_0 = \frac{7339}{26,4} .28,8 = 8005,6 \text{ kg/h}$$

toplam yanma havası olarak bulunur.

1kg yakıt için giren hava miktarı ise;

$$\frac{8005,6}{375,5} = 21,3 \text{ kg hava/kg yakıt bulunur.}$$

5.2.3.Hava Fazlalık Katsayısının Hesaplanması

$$\lambda = \frac{\text{1 kg için giren hava miktarı}}{\text{gerekli teorik nemli hava miktarı}} \quad (13)$$

ile verilir. (9) denkleminde gerekli teorik nemli hava miktarı 5,99 kg/kg_{yakıt} bulunmuştu, değerler (13) denkleminde yerine yazılırsa;

$$\lambda = \frac{21,3}{5,99} = 3,5 \text{ bulunur.}$$

5.2.4. Duman Gazı Analizi

CO₂ miktarı (5) denkleminden 1,83 kg bulunmuştu.

H₂O miktarı (6) denkleminde 0,54 kg bulunmuştu fakat buna yakma havası ile giren su miktarı da eklenirse;

$$m_{su} = X_{H_2O} + \lambda (\text{gerekli teorik hava miktarı} \cdot x_h) \quad (14)$$

denklemini ile duman gazındaki nem miktarı hesaplanır:

$$m_{su} = 0,54 + 3,5 (5,96 \cdot 0,0054) = 0,62 \text{ kg/kg}_{\text{yakıt}} \text{ bulunur.}$$

N₂ miktarı ise yakıtın bünyesinden gelen 0,002 kg N₂ ile yakma havasından gelen N₂ miktarı toplanırsa, duman gazı içindeki N₂ miktarı bulunur.

$$m_{N_2} = 0,002 + \lambda (\text{gerekli teorik hava miktarı} \cdot \% N_2) \quad (15)$$

Hava içindeki % N₂ miktarı 0,7685' tir. Buna göre

$$m_{N_2} = 0,002 + 3,5(5,96 \cdot 0,7685) = 16,03 \text{ kg /kg}_{\text{yakıt}} \text{ bulunur.}$$

O₂ miktarı ise yakıtın bünyesinden gelen 0,43 kg O₂ ile yakma havasıyla giren fazla O₂ miktarının toplamıdır.

$$m_{O_2} = 0,43 + (\lambda - 1) \cdot (\text{gerekli teorik hava miktarı} \cdot \% O_2) \quad (16)$$

Hava içindeki % O₂ miktarı 0,2315'dir. Buna göre

$$m_{O_2} = 0,43 + (3,5 - 1) \cdot 5,96 \cdot 0,2315 = 3,81 \text{ kg/kg}_{\text{yakıt}} \text{ bulunur.}$$

1kg yakıtın $\lambda=3,5$ hava fazlalık kat sayısı ile yanması durumunda, duman gazı miktarı CO₂, H₂O, N₂, O₂ değerlerinin toplanmasıyla bulunmaktadır.

$$m_{\text{Duman gazı miktarı}} = m_{CO_2} + m_{H_2O} + m_{N_2} + m_{O_2} \quad (17)$$

Değerleri yerine konularak duman gazı miktarı 22,29 kg duman gazı /kg yakıt bulunur.

5.2.5. Kurutma Havası Miktarı ve Klima Havası Isı İhtiyacı

Gerek kurutucudan çıkan yongaların rutubet miktarının belirlenmesi için gerekse kurutucuya girmeden önceki yongaların rutubet miktarının belirlenmesi için bir numune alarak hassas terazili ve üzeri ısı kaynaklı kurutma cihazına konulur. İlk değeri tartılır, ısı kaynağı üzerine doğru indirilir. Yongaya transfer edilen ısı ile yonga içindeki su tamamen buharlaşarak yonga ağırlığı giderek azalarak sabitleşir işte bu sabit kaldığı ağırlık yonganın tam kuru ağırlığıdır. Yonganın rutubetinin tayininde tam kuru ağırlık kullanılır.

W_0 = Yonganın tam kuru ağırlığı

W_m = Yonganın rutubetli ağırlığı

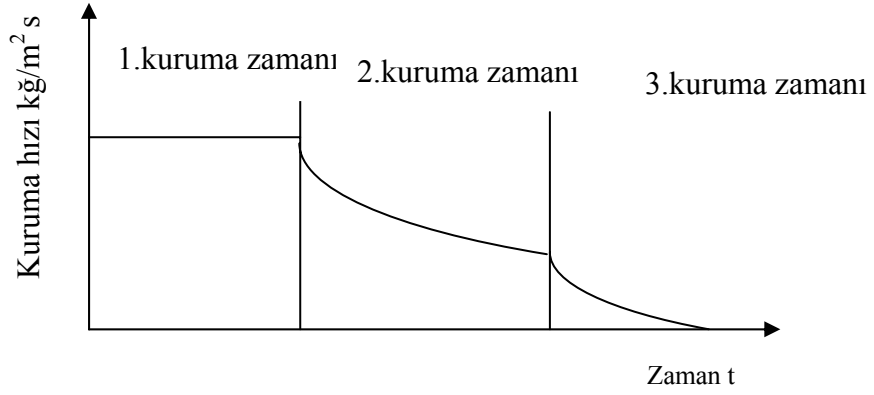
S = Yonganın rutubet yüzdesi

olduğuna göre tam kuru ağırlık esasına göre yonganın rutubet yüzdesi:

$$S = \frac{W_m - W_0}{W_0} \cdot 100 \quad (18)$$

olarak ifade edilir.

Su içeren ürünler yapılarına ve içerdikleri su miktarına bağlı olarak farklı kuruma özellikleri gösterirler. Higroskopik bir üründe üç aşamadan oluşan kuruma sırasındaki kalitatif nem dağılımı şekil5.1’de görüldüğü gibidir.



Şekil 5.1 Higroskopik üründe kurutma hızının zamanla değişimi

-Kurutma havası miktarı :

Fabrikada imal edilecek yonga levha miktarına göre gerekli olan %2,5 rutubetli yonga miktarı 100 ton/gün dür.

Günlük talaş ve ısı ihtiyacı : %27,5 rutubette giren yongayı %2,5 rutubet değerine indirmek için içerisinde uzaklaştırılması gereken su miktarı W_{su} , 1kg kuru madde için hesaplanırsa;

$S_{giriş}$ = Yonganın döner fırına giriş rutubeti

$S_{çıkış}$ = Yonganın döner fırından çıkış rutubeti

W_{su} = Yongadan buharlaştırılması gereken su miktarı

$$W_{su} = \frac{S_{giriş}}{1 - S_{giriş}} - \frac{S_{çıkış}}{1 - S_{çıkış}} \quad (19)$$

(19) denkleminde değerler yerine konulursa;

$W_{su} = 0,3537 \text{ kg}_{su}/\text{kg}_{kuru \text{ madde}}$ bulunur.

Kurutulan yongada %97,5 kuru madde olduğu göz önüne alınarak 100 t/gün kurutulmuş yonga için;

$97,5 \cdot 0,3537 = 34,5 \text{ t/gün}$ su buharlaşır. 100 ton/gün ve %2,5 rutubette çıkan yongaya buharlaşan su miktarını eklersek %27,5 rutubette girmesi gereken yonga miktarını buluruz.

$$m_{yonga} = 100 + 34,5 = 134,5 \text{ t/gün}$$

Kurutucudan 34,5 t/gün su buharlaşıyor. Kurutucudan saatte buharlaştırılan su miktarı ise, kurutucunun günde 20 saat süreyle çalıştığı göz önünde tutularak;

$$m_{\text{buharlaşan su}} = \frac{34,5}{20} = 1,725 \text{ t/h} = 1725 \text{ kg/h' dir.}$$

Duman gazı miktarı ise;

$$m_{\text{duman gazı}} = m_0 + m_{\text{yakıt}} (1 - m_{\text{kl}}) \quad (20)$$

denkleminde bulunur. Burada;

$$m_0 = 800,5 \text{ kg/h}$$

$$m_{\text{yakıt}} = 375,5 \text{ kg/h}$$

$$m_{\text{kl}} = 0,008 \text{ kg/kg}_{\text{yakıt}} \text{ değerleri yerine yazılırsa;}$$

$$m_{\text{duman gazı}} = 800,5 + 375,5 (1 - 0,008) = 8378 \text{ kg/h bulunur.}$$

Kurutma havası için aşağıdaki enerji dengesi yazıla bilir.

$$m_{\text{duman gazı}} \cdot h_{698} + m_{\text{klima}} \cdot h_{137,5} = (m_{\text{duman gazı}} + m_{\text{klima}}) \cdot h_{340} \quad (21)$$

Duman gazı tablosundan:

$$h_{340} = 85 \text{ kcal /kg}$$

$$h_{698} = 174 \text{ kcal /kg}$$

$$h_{130} = 32,5 \text{ kcal /kg}$$

$$h_{137,5} = 34,5 \text{ kcal /kg (Çengel ve Boles,1999)}$$

entalpi değerleri alınarak (21) denkleminde yerine konulursa;

$$8378 \cdot 174,5 + m_{\text{klima}} \cdot 34,5 = (8378 + m_{\text{klima}}) \cdot 85$$

Buradan,

$$m_{\text{klima}} = 14815 \text{ kg/h bulunur.}$$

Kurutma havası duman gazı ile klima havasının toplamı olduğuna göre;

$$m_{\text{kurutma}} = m_{\text{duman gazı}} + m_{\text{klima}} = 8378 + 14815 = 23193 \text{ kg/h bulunur.}$$

Kurutucu sisteminde ocaktan gelen duman gazı ile klimadan gelen sıcak hava karıştırılıp döner fırına girmektedir. Ocakta 375,5 kg/h toz yakılarak 698 °C üretilen duman gazı, klima ile 137,5 °C kadar kızgın yağla ısıtılan ortam havası ile karıştırılarak döner fırına 340 °C girmekte, 130 °C terk etmekte. Döner fırın ağzından hava duman gazı karışımı ile birlikte ıslak yonga girişi olmakta fırın sonunda ki aspiratörün çekişiyle yonga ve kurutma havası döner fırın içinde sürüklenmektedir. Döner fırına % 27,5 bağıl nemle 6,725 t/h giren yonga % 2,5 bağıl nemle 5t/h debisinde çıkmaktadır. Aspiratör yongayı siklona basarken duman gazı da havaya atılmaktadır. Bu tesiste günde 100 t yonga % 2,5 rutubete düşürülmektedir.

Kurutucu düzeneğinde ocaktan gelen duman gazı ile klimadan gelen hava karışarak döner fırına girmektedir.

-Klima havasının ısı ihtiyacı:

Klima sisteminin kurutma için verdiği ısı miktarı;

$$Q_{\text{klima}} = m_{\text{klima}} \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1) \quad (22)$$

ve nemli hava özgül ısısı ise;

$$c_p = 0,24 + 0,46 \cdot x_h \quad (23)$$

bağıntısıyla hesaplanır.

Havanın klimaya giriş sıcaklığı $T_1=13 \text{ }^\circ\text{C}$, buradan çıkış sıcaklığı $T_2=137,5 \text{ }^\circ\text{C}$ olduğuna göre klimadan havanın aldığı ısı miktarı (22) denkleminde;

$$Q_{\text{klima}} = 446361,1 \text{ kcal / h bulunur.}$$

Kazanda saatte 375,5 kg toz yakıldığında $698 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de 8378 kg duman gazı klima sisteminden 14815 kg/h debisinde $137,5 \text{ }^\circ\text{C}$ 'deki hava ile karışarak 23193 kg/h debisinde $340 \text{ }^\circ\text{C}$ hava ve duman gazı karışımından kurutma havası oluşmaktadır.

6.BULGULAR

6.1. KURUTUCU DÜZENEĞİNDE ISI EKONOMİSİ ÇALIŞMALARI

6.1.1. Atık Isı Geri Kazanımı Çalışması

Isı ekonomisi çalışmalarında genellikle ilk deneme atık ısının geri kazanımı yoludur. Mevcut tesise bir ısı geri kazanım sisteminin ilave edilebilmesi için geri kazanılabilecek atık ısı miktarının yeterli bir seviyede olması ve bu atık ısının faydalı olarak kullanılabilmesi gerekmektedir.

Geri kazanılabilecek atık ısı miktarı, akış hızı, sıcaklık nem, ve basınç gibi tesis parametrelerine bağlıdır.

Kurutma düzeneğinde sıcak gazların atmosfere atıldığı en son noktadaki ölçümlerde baca gazı sıcaklığı 130 °C'dir. Bununla birlikte hafif talaş parçacıklarının siklona girmeyerek baca gazıyla uçtukları belirlenmiştir. Bu değerleri göz önüne aldığımızda 130 °C 'nin düşük bir sıcaklık olması çekilebilecek ısı miktarını azaltmakta, bunun yanı sıra duman gazındaki yüksek nemlilik baca gazındaki soğumayla yoğuşmalara dolayısıyla metal aksamli bacalarda korozyona sebep olacağından atık ısı geri kazanım sisteminin uygun olmayacağı anlaşılmıştır.

6.1.2. Klimanın Kaldırılmasıyla Yapılan Isı Ekonomisi

Klima devreye girdiğinde kızgın yağ tesisatından yağ çekmeye başlayınca ana kazanda yani kızgın yağ kazanında ısıl yükün büyük ölçüde artığı gözlenmektedir. Klima sistemi devreden çıkarak yani kurutma havası, kurutucu ocağından gelen duman gazı ile ortam havası direk, ısıtılmadan karışarak kurutma fırınına

gönderilmesi ile kızgın yağ kazanından çekilen ısı yük azalacağından yakılan yakıt miktarı da azalacaktır. Buna karşılık kurutucu ocağında yakılan yakıt artacaktır.

Yani yakılan kömür miktarı azalırken, toz miktarı artacaktır. Aradaki yakıt miktarı farkı ile yakıtların ekonomik değerleri karşılaştırılacak kar zarar hesaplanacaktır.

Kurutucunun kapasitesini düşürmeden (100 t/gün kuru talaş), klimayı kaldırarak fırında dolaşan kurutma havası debisini sabit (23193 kg/h) tutarak, ekonomi yapılmak isteniyor. Fakat kurutma havası debisinde azalma olursa yonga döner fırın içerisinde hareket edemeyerek tıkanıyor. Fırında sürüklenme gerçekleşmiyor. Bu yüzden hava debisini aynı tutmamız gerekiyor. Bu havayı sağlayabilmek için kızgın yağlı ısıtıcı kullanmadan direkt dışardan soğuk hava alarak ve bunu yanma odası marifetiyle ısıtarak kurutma havası sağlamalıyız

Yanma odası ısı dengesi yazılabilir.

$$m_0 \cdot c_p \cdot T_1 + m_{\text{yeni yakıt}} \cdot H_u \cdot \eta_0 = m_{\text{kurutma}} \cdot h_{340} \quad (24)$$

ve kütle dengesi yazıla bilir.

$$m_0 + m_{\text{yeni yakıt}}(1 - m_{\text{kül}}) = m_{\text{kurutma}} \quad (25)$$

$$T_1 = 13 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$H_u = 3900 \text{ kcal/kg}$$

$$h_{340} = 85 \text{ kcal/kg}$$

$\eta_0 = 0,98$ ocak verimi alınarak (25) denkleminde m_0 çekilerek (24) denkleminde yerine yazılırsa;

$$m_{\text{yeni yakıt}} = 497,1 \text{ kg/h bulunur}$$

Klimayı kaldırıp dışardan taze hava, ortam sıcaklığında alınarak 23193 kg/h debisinde 340 °C havayı sağlamak için 497,1 kg/h toz yakmak gerekir. O halde klimanın kaldırılmasından dolayı yaktığımız fazla yakıt miktarı ise;

$$\begin{aligned}\Delta m_{\text{toz}} &= m_{\text{yeni yakıt}} - m_{\text{yakıt}} \\ &= 497,1 - 375,5 \\ &= 121,6 \text{ kg/h' dir. Diğer taraftan;}\end{aligned}$$

$$Q_{\text{klima}} = m_{\text{klima}} \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1) = \Delta m_{\text{kömür}} \cdot H_u_{\text{kömür}} \cdot \eta_k \quad (26)$$

$H_u_{\text{kömür}} = 7000 \text{ kcal/kg}$ ve $\eta_k = 0,75$ (mekanik ızgaralı kızgın yağ kazanı), $T_2 = 137,5^\circ\text{C}$, $T_1 = 13^\circ\text{C}$ alınarak bu denklemden $\Delta m_{\text{kömür}} = 85 \text{ kg/h}$ kömür daha az yakılır.

Kömür ve toz yakıtların birim fiyatlarının sırasıyla 175.000 TL/kg ve 65.000 TL/kg olduğu dikkate alınırsa;

$$M_{\text{Kazanç}} = 85 \cdot 175000 - 121,6 \cdot 65000$$

$$M_{\text{Kazanç}} = 6971000 \text{ TL / h}$$

1 günde 20 saat çalışan kurutma sistemi için günlük kazanç;

$$M_{\text{Kazanç}} = 20 \cdot 6971000 = 139420000 \text{ TL/gün}$$

olur.

Klima sisteminde tesisattaki yağı radyatörde dolaşımını sağlayan motorlu vana kullanılmadığı için elektrik tasarrufu yapılmaktadır. Bu motorun gücü $N = 4 \text{ kW}$ dır. Günlük çalışma süresi 20 saat ve sanayi tipi bağlantılı elektriğin Nisan 2003 itibariyle fiyatı 217245 TL olduğuna göre günlük elektrik sarfıyatı

$$M_{\text{vana}} = 4 \text{ kW} \cdot 20 \cdot 217245 \\ = 17379600 \text{ TL/gün}$$

olmaktadır.

Klimanın hava kanalından kaldırılması özel yük kayıplarını azaltacaktır. Özel yük kayıpları;

$$\Delta H_0 = \zeta_0 \cdot \frac{w^2}{2} \rho \quad (27)$$

ile verilir. (Köktürk, 1978)

A : Açık radyatör alanı

A₀ : Kapalı radyatör alanı

A₀/A = 0,2 radyatör özelliğinden, $\zeta_0 = 17$ (Köktürk, 1978)

ρ : radyatörden geçen hava yoğunluğu

$$\rho = \frac{P}{R \cdot T} = \frac{90000}{287 \cdot 410,5} = 0,765 \text{ kg/m}^3$$

Hava debisi:

$$V = \frac{14815}{0,765} = 19366 \text{ m}^3/\text{h}$$

Açık radyatör alanı:

$$A = 1,4 \cdot 1,4 = 1,96 \text{ m}^2$$

A alanından, V debisinde radyatörden geçen hava hızı

$$w = \frac{V}{3600 \cdot A}$$

$$w = \frac{19366}{3600 \cdot 1,96} = 2,74 \text{ m/s}$$

değerleri alınır ve yerine yazılırsa;

$$\Delta H_0 = 17 \cdot \frac{2,74^2}{2} \cdot 0,765 = 48,81 \text{ Pa}$$

bulunur.

O halde özel yük kayıpları

$$N = \frac{\Delta H_0 \cdot v}{3600 \cdot 1000} \quad (28)$$

formülünden hesaplanır. Bilinenler yerine konulursa $N = 0,26 \text{ kW}$ bulunur.

Günde 20 saat çalışan kurutma sistemi için özel kayıplardan dolayı kazanılan enerji tasarrufu;

$$M_{\text{radyatör}} = 0,26 \cdot 20 \cdot 217245 = 1129674 \text{ TL/gün}$$

olmaktadır.

Saatte yakılan toz yakıt miktarı arttığı için toz nakil havası kompresör gücünü artıracaktır.

y: yakıt artış oranı ise

$$y = \frac{m_{\text{yeni yakıt}}}{m_{\text{yakıt}}} = \frac{497,1}{375,5} = 1,32$$

olur.

Mevcut sistemdeki kompresör gücü 3 kW olduğu göz önünde tutularak kompresör gücündeki artış

$$\begin{aligned}\Delta N_{\text{kompresör}} &= N_{\text{kompresör}} \cdot y - N_{\text{kompresör}} \\ &= 3.1,32 - 3 \\ &= 0,96 \text{ kW olur.}\end{aligned}$$

Günde 20 saat çalışan sistem için kompresör gücündeki artıştan dolayı kayıp;

$$M_{\text{Kompresör}} = 0,96 \cdot 20 \cdot 217245 \text{ TL/kWh} = 4171104 \text{ TL/gün}$$

olmaktadır.

Tesisten bir günde yapılan ekonomi tutarı tablo halinde gösterilebilir.

| Tasarruf cinsi | TL/gün |
|--|------------|
| Yakıt tasarrufu | 139420000 |
| Motorlu vana gücünden gelen elektrik tasarrufu | 17379600 |
| Radyatördeki özel kayıplardan gelen elektrik tasarrufu | 1129674 |
| Kompresör gücünden gelen Elektrik kaybı | (-)4171104 |
| Toplam | 153758170 |

Buna göre yıllık tasarruf;

$$M_{\text{Yıllık}} = 365 \cdot 153758170 = 56.121.000.000 \text{ TL/yıl}$$

olmaktadır.

7.TARTIŞMA ve SONUÇ

Günlük yonga kurutma kapasitesini ve kurutma şartlarını değiştirmeden fabrikanın kurutma tesisinde ısı ekonomisi yapılması hedeflenmiştir.

İncelediğimiz sistemde ısı ekonomisi çalışmalarımız yakıtın ısıya dönüşümünden, kurutmanın son bulup egzost gazlarının atmosfere atıldığı noktaya kadar sürmüştür. Atmosfere atılan egzost gazlarının sıcaklığının düşük, nemlilik derecesinin yüksek olması yüzünden atık ısı geri kazanım ekipmanlarından faydalanmamız mümkün olmamıştır.

Kurutma fırınının çalışma şartlarında bir değişiklik yapılmamıştır. Zira bu başlı başına bir kurutma çalışmasını gerektirmektedir.

Yaptığımız bu çalışmada klimanın, kurutma ünitesi için ek bir yakıt masrafı getirdiği görülmüştür. Bu sebeple klimanın yanma odası cidarından enjekte ettiği havanın yerine, doğrudan doğruya ortam havası ile yanma odasından gelen sıcak duman gazları da karıştırılarak kurutma havası sağlanmıştır. Sonuçta yapılan bu değişiklikle yılda 56.121.732.050 TL lık kazanç sağlanacağı anlaşılmıştır.

Yaptığımız ısı ekonomisi çalışmasının uygulanması, fabrikanın üretim maliyetini düşürerek karlılığı artıracak ve böylece ülke ekonomisine katkı sağlayacağı aşıkardır.

KAYNAKLAR

- Bozkurt, Y.,GÖKKER, Y., Yonga Levha Endüstrisi, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayını, Yayın No: 3311,İstanbul,1990.
- Çengel, A., BOLES, A., Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, McGraw-Hill- Literatür Yayını, İstanbul, 1999.
- Eyice, S., Isı Ekonomisi Cilt 1, Çağlayan Basımevi, İstanbul, 1981.
- Güneş, M., Bilgisayar Destekli Olarak Çeşitli Geometrik Şekillere Sahip Gözenekli Ortamlarda Kurutma Prosesinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 1994
- Kneule, F., Das Trocknen, Sauerlander AG, München, 1974.
- Köktürk, U., İklimlendirme ve Klimatoloji Tekniği Cilt 1, Eğitim Yayınları, İstanbul, 1978
- Newman, A.B., The Drying of Porous Solids Diffusion Calculations, Trans. Am. Inst. Chem. Eng., Vol 27, 310-333, 1931
- Orma A.Ş., Fabrika Üretim Kataloğu, Isparta, 1991.
- Örs, Y., Kurutma ve Buharlaştırma Tekniği, Karadeniz Üniversitesi Orman Fakültesi K.Ü. Ders Teksirleri Serisi No: 15, Trabzon, 1986.
- Özen, R., Yonga Levha Endüstrisi Ders Notları, K.T.Ü. Orman Fakültesi Ders Notları Yayın No:30, Trabzon, 1980.
- Telli, Z.K., Yakıtlar ve Yanma, Akdeniz Üniversitesi, Isparta Mühendislik Fakültesi Yayınları, Yayın No: 19, 188s, Isparta, 1984.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Özgür SELÇUK

Doğum Yeri :Isparta

Doğum Yılı :1978

Eğitim ve Akademik Durumu :

Lise : 1993-1995

Isparta Ş.A.İ.K. Lisesi

Lisans : 1996-2000

Süleyman Demirel Üniversitesi
Mühendislik Mimarlık Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü

Yabancı Dil : İngilizce