

MDF ve Yongalevhada Biçim Bozukluđuna (Çarpılma) Neden Olan Önemli Faktörler

Turgay Akbulut¹ Nadir Ayrılmış^{1*}

¹İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, Bahçeköy, Sarıyer, 34473, İstanbul

*Tel: 0212 226 11 00, Fax: 0212 226 11 13, E-mail: nadiray@istanbul.edu.tr

Kısa Özet

Bu çalışmada, MDF ve yongalevhanın biçim bozukluğuna (çarpılma), neden olan önemli faktörler ele alınmıştır. Levha üretimi sırasında sıcak preslemeden kaynaklanan kalıcı gerilmeler, levha dikey ve yatay yoğunluk profilinin levhanın çarpılması üzerine etkileri değerlendirilmiştir. Üretim sonrası ile ilgili olarak ise rutubet değişimleri, yüzey kaplama malzemelerinin levhaya uygulanması ve levha istifleme şartlarının etkileri incelenmiştir. Ayrıca, levhalarda çarpılma riskini önlemek için alınması gereken tedbirler açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: MDF, yongalevha, çarpılma, laminasyon, rutubet miktarı

Fundamental Factors Affecting The Development of Warp in MDF and Particleboard

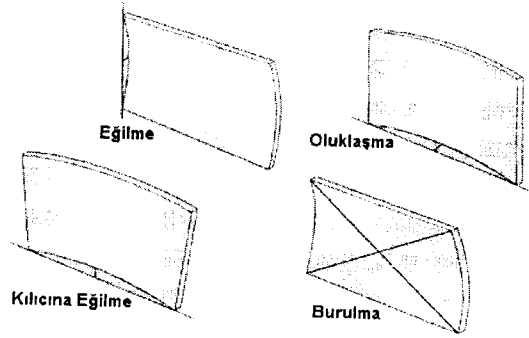
Abstract

In this study, the effects of some considerable factors arised from manufacture and post-manufacture on the warping of MDF and particleboard were evaluated. Effects of residual stress, panel vertical and horizontal density profile, caused by hot pressing during panel manufacture on the warping were investigated. As for post-manufacture, effects of moisture changes, laminating, and stacking on the warping of the panels were reported. It was also stated precautions to prevent the risk of warping of the panels.

Keywords: MDF, particleboard, warping, lamination, moisture content

1. Giriş

Çarpılma veya biçim bozukluğu, levha yüzeylerinin genişlik ve uzunluk ekseninden çeşitli biçimlerde sapsması olarak tarif edilmektedir. MDF ve yongalevha birçok uygulamada başarılı biçimde kullanılmakta olup, üretimden sonraki düz formundan herhangi bir sapma göstermemesi arzu edilmektedir. Çarpılma, levhalarda¹ farklı şekillerde meydana gelebilmektedir (Şekil 1). Bunlar sırasıyla a) eğilme (iç bükey veya dış bükey); genişlik boyunca sapma, b) oluklaşma; uzunluk boyunca sapma, c) kılıcına eğilme; kenarlar boyunca sapma ve d) burulma; diyagonal köşelerin arasında düzlemin sapsmasıdır.



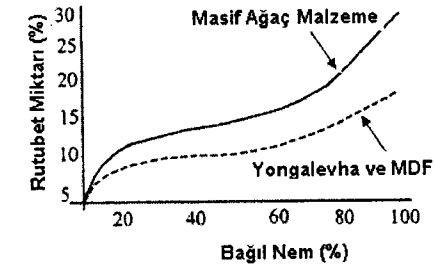
Şekil 1. MDF ve yongalevhada görülen 4 farklı çarpılma tipi (Ganev, 2002).

MDF ve yongalevhada çarpılmaya neden olan en önemli etkenler; rutubet değişimleri ve istif şartlarıdır. Hatalı istifleme tek başına çarpılmaya neden olurken, rutubet tek başına etkili olmayıp, rutubetin etkili olmasını kolaylaştıran ve yardımcı olan yan faktörler bulunmaktadır. Bunlar ise; levha içerisindeki gerilimler, levha yoğunluğu, levha dikey yoğunluk profilinin şekli, levha yüzeyi boyunca yoğunluk değişimi, yüzey kaplama sistemleri ve asimetrik zımparalamadır. İstifleme şartları haricindeki faktörlerin tümü, rutubet değişimi sonucunda levhanın çarpılmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla, bu faktörler levhadaki rutubet değişimi ile birlikte çarpılmayı tetiklemektedir. Bu makalede, MDF ve yongalevhada çarpılmaya neden olan bu faktörler ele alınarak, çarpılma riskini önlemek veya en aza indirmek için alınması gerekli tedbirlerin açıklanması amaçlanmıştır.

¹ Bu çalışmada MDF ve yongalevha terimlerinin sık sık tekrardan kaçınmak amacıyla birçok yerde "levha" tabiri kullanılmıştır.

2. MDF ve Yongalevhada Çarpılmaya Neden Olan Faktörler

MDF ve yongalevhalar, ağaç işleme makineleri ile işlenmelerinde, levha yüzey işlemlerinde (bitirme) ve kullanım yerinde önemli seviyede rutubet değişimlerine maruz kalmaktadırlar. Levhalarda çarpılmalara, levha kalınlığı boyunca asimetrik gerilimin neden olduğu ve bu gerilimin de rutubet miktarındaki artıştan kaynaklandığı literatürde belirtilmiştir (Suchsland ve ark., 1995). MDF ve yongalevhanın sorpsiyon izotermine bakıldığında %0 ve %100 bağıl nemler arasında ve 20°C sıcaklıkta levhanın denge rutubet miktarı %0'dan %20'ye kadar değişme göstermektedir (Şekil 2). Adsorpsiyon ve desorpsiyon eğrileri arasında en yüksek histerez seviyesi %2 olup, bu değere %45 bağıl nemde ulaşılmaktadır (Ganev, 2002). Adsorpsiyon ve desorpsiyon halinde yoğunluğu yüksek olan levhaların denge rutubet miktarları, yoğunluğu düşük olan levhalardan daha düşüktür. Yine yoğunluğu düşük olan levhaların etkili su iletimi ve difüzyon katsayısı, yoğunluğu yüksek olan levhalardan önemli ölçüde daha fazladır.

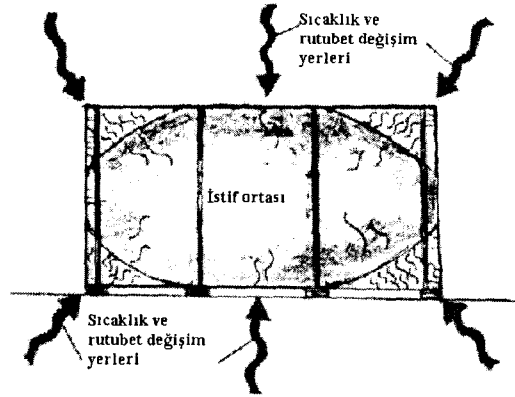


Şekil 2. Masif ağaç malzeme, yongalevha ve MDF'nin 20°C sıcaklıkta çeşitli bağıl nemlerdeki rutubet miktarları (%) (Ganev, 2002).

Levhaların ve yüzey kaplama malzemelerinin depolandığı yerin hava şartları da bu malzemelerin rutubet miktarı üzerine çok etkilidir. Bir tarafı açık havaya maruz kalan levha depolarında, hava akımı etkisiyle levhaların rutubet miktarı artabilmektedir. Bu nedenle, ahşap esaslı levhalar ile laminat ve folyo gibi malzemelerin depolandığı alanın bağıl nemi %40-60 arasında, sıcaklığı ise 20-25°C olmalıdır. MDF'nin rutubet miktarı %1 değiştiğinde, uzunluğu ve genişliği her metrede ortalama 0.4 mm değişmektedir. Levha rutubet miktarı satış sırasında ortalama %8 olmalıdır. MDF'den kesilen küçük boyutlu parçalar bağıl nemi %80 veya daha fazla olan bir ortamda iki veya daha fazla gün beklediğinde boyutları %0.35 kadar artmaktadır. Yongalevhanın bulunduğu ortamın bağıl nemi %40'dan %85'e çıktığında enine ve boyuna yönlerde %0.25 uzama gösterdiği belirtilmiştir. (Anonim, 1997).

Depoda bulunan levha istifinin altına ve üstüne koruma levhaları konmadığı takdirde, istifin en üstteki levhasında, rutubetin etkisiyle yukarıya doğru dönme şeklinde bozukluğu meydana gelmektedir. Benzer şekilde, kullanım yerinde tek yüzü mutedil bir rutubete ve diğer tarafı kuru bir atmosfere maruz kalan levhalarda çarpılmaya neden olan rutubet dengesizliği meydana gelmektedir. Levha istifinde en alt

ve üstündeki levhalar hava ile daha fazla temas halinde olmaktadır. Buna karşın, Şekil 3'de görüldüğü gibi her bir levhanın üzeri kapalı olmasına rağmen, dört kenarından yüzeye göre daha fazla rutubet almaktadır. Levhalar, kenarlarından yüzeylerine göre daha hızlı rutubet almaya eğilimlidir. Bu eşit olmayan rutubet alımı, MDF veya yongalevha içerisinde farklı gerilimler oluşmasına neden olabilmektedir. Oluşan bu gerilim farklılığı, levha kesildiğinde serbest kalmakta, levhadan dar uzun parçalar kesildiğinde (özellikle profil verilecek levha üretimi için) "kılıcına eğilme" olarak tabir edilen biçim bozukluğu oluşmaktadır. Aşağıda, rutubetin etkisini tetikleyerek levhanın çarpılmasına neden olan faktörler ele alınmıştır.



Şekil 3. İstif içerisine sıcaklık ve rutubet giriş yerleri (istifin üstten görünüşü) (Anonim, 1997)

2.1. Rutubet Etkisiyle Çarpılmaya Neden Olan Faktörler

2.1.1. Levha yoğunluğu

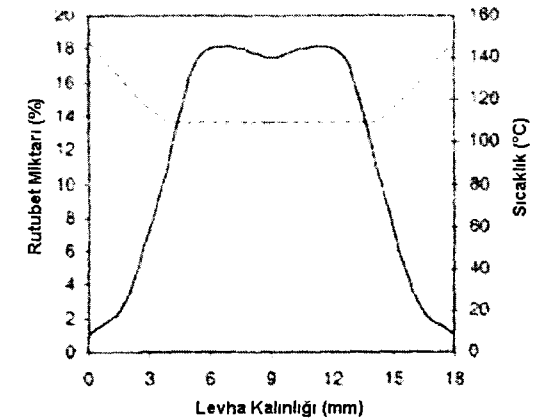
Yoğunluğu yüksek olan levhalar, düşük yoğunluklu levhalarla göre daha fazla çarpılmaktadır. Levhanın yoğunluğu arttıkça, hem boyuna yönde hem de kalınlık yönünde daha fazla çalışma (genişleme ve daralma) meydana gelmektedir. Bunun nedeni, yoğunluğu yüksek olan levhaların daha yüksek iç gerilime sahip olmalarıdır. Ayrıca, levha boyuna uzama katsayısı ile levha yoğunluğu arasında sıkı bir ilişki tespit edilmiştir (Ganev, 2002).

Levha yoğunluğu artınca boşluk hacmi azalacağı için, aynı şartlar altında aynı miktardaki suyu daha büyük hacim genişlemesi yapmak suretiyle absorbe edecektir. Hücre çeper maddesinin yoğunluğu 1.46 gr/cm^3 olup, 1 cm^3 'ü %100 bağıl nemde kendi ağırlığının %28'i kadar (lif doygunluğu noktası) su absorbe etmektedir ($1.46 \times 0.28 = 0.40 \text{ g su}$, bu da 0.40 cm^3 eder). Bu miktar, hücre çeperinin absorbe edebileceği maksimum su miktarıdır. Bundan sonra alınan su, boyutlarda bir değişme yapmamaktadır. Hücre çeperinin 0.40 cm^3 genişlemesi, levhanın yoğunluğuna bağlı

olarak farklı hacim genişlemesine neden olmaktadır. Mesela, 0.49 g/cm^3 yoğunluktaki bir ağaç malzeme %100 bağıl nem ortamında bekletilirse hacim genişlemesi %13, 0.73 g/cm^3 yoğunluktaki bir yongalevhada %20 ve 0.97 g/cm^3 yoğunluktaki bir liflevhada (HDF) %27'dir (Suchsland ve Woodson, 1991). Dolayısıyla, levhanın yoğunluğu arttıkça, rutubetli bir ortamda boyutlarında daha fazla bir değişme meydana geldiğinden, buna bağlı olarak, levha içerisinde gerilmelerin artması ve çarpılmalar daha fazla olmaktadır. Bu bakımdan yoğunluğu yüksek olan levhaların kullanımında, rutubet değişimlerinden kaynaklanan çarpılmalara karşı daha fazla tedbir alınmalıdır.

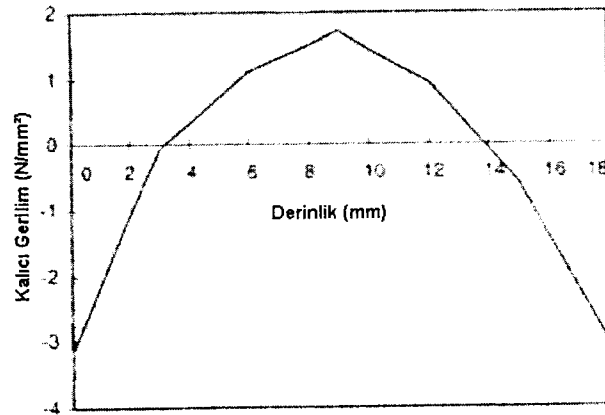
2.1.2. Levha içerisindeki kalıcı gerilmeler

Sıcak presleme, levha üretiminde kritik bir prosestir. Levha içerisinde sıcak preslemeye kaynaklanan kalıcı gerilmeler, levhanın şekil değişimleri üzerine etki eden önemli faktörlerden birisidir. Tipik bir levha üretim sürecinde, tutkalanmış lif/yonga taslağı genellikle uniform bir sıcaklık ve rutubette sıcak prese girmektedir. Genel olarak, 180°C civarındaki sıcaklığa sahip pres plakaları levha taslağını sıkıştırmakta ve taslağı ısıyı transfer etmektedir. Levhaya sıcak pres plakalarından transfer edilen bu ısı, taslağın yüzey tabakalarındaki rutubeti buharlaştırmaktadır. Buhar oluşumu yüzey tabakaları içerisindeki buhar basıncında bir artışa neden olmakta ve bu durum taslağın yüzey tabakalarından orta tabakaya doğru bir buhar akışına neden olan basınç eğilimi ile sonuçlanmaktadır. Orta tabakadaki daha düşük sıcaklık, buharın bir kısmının yoğunlaşmasına neden olmaktadır. Presin açılmasıyla levhanın orta tabakası yüksek bir rutubet miktarına, yüzey tabakaları ise nispeten düşük bir rutubet miktarına sahip olmaktadır (Houts ve ark., 2000). Şekil 4'de pres açıldığında, levhada beklenen sıcaklık ve rutubet dağılımının tipik bir örneği görülmektedir (Houts ve ark., 2001a). Şekil 4'de görüldüğü üzere levhanın alt ve üst yüzey tabakalarındaki sıcaklık miktarı orta tabakadan yüksek iken, rutubet miktarı tam tersine daha düşüktür.



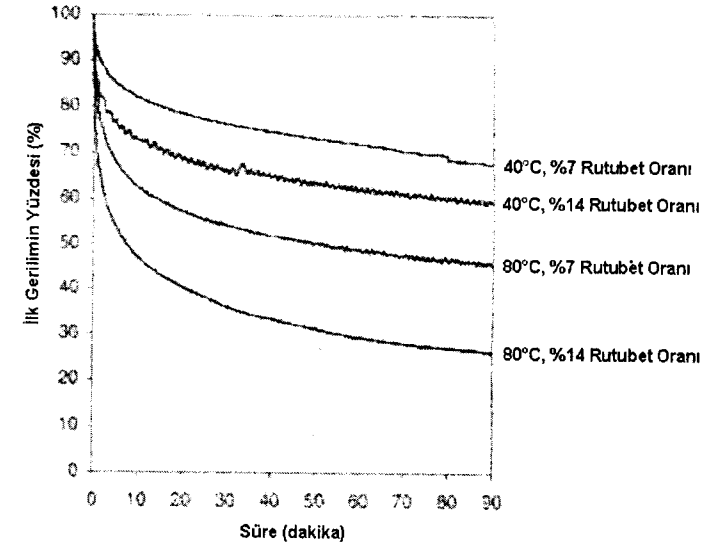
Şekil 4. Şerit yongalı levha için sıcak pres açıldığında levha içinde beklenen sıcaklık (-----) ve rutubet (—) dağılımı (Houts ve ark., 2001a).

Levha prestren ayrıldıktan sonra bulunduğu ortamın sıcaklığı ve bağıl nemi ile dengeye gelmeye başlamakta ve bunun sonucu olarak, yüzey tabakalarının rutubet miktarında bir artma olmasına karşın, sıcaklık miktarında azalma; orta tabakanın rutubet miktarında ise tam tersine bir azalma ve sıcaklık miktarında bir artma meydana gelmektedir. Levhanın sahip olduğu sıcaklık ve rutubet, bulunduğu ortamın sıcaklık ve rutubeti ile dengeye gelme süreci içerisinde, levha yüzeyine paralel yönde oluşan kalıcı gerilmeler, levhanın higro-termal değişimlere tepki olarak verdiği boyuna yönde uzama davranışını arttırmaktadır. Levha, ortam sıcaklığı ve bağıl nemi ile dengeye gelirken, levhanın kalınlığı boyunca rutubet profilindeki değişim nedeniyle oluşan kalıcı gerilmeler, büyük ölçüde levhanın yatay düzleminde artmaktadır. Sıcaklık profil değişimi ise kalıcı gerilmeler üzerinde rutubet profili değişimine oranla daha az bir etkiye sahiptir. Dolayısıyla, levha prestren çıktıktan sonra, kalınlığı boyunca farklı sıcaklık ve rutubet miktarlarına sahip olan bitişik katlar arasında muhtemel bir gerilim farklılığı olmaktadır. Sıcaklık veya rutubet miktarındaki artış pozitif bir gerilme (boyutsal uzama) oluştururken, sıcaklık ve rutubetteki azalma ise negatif bir gerilmeye (boyutsal daralma) neden olmaktadır (Houts ve ark., 2000). Rutubet miktarındaki değişmeden kaynaklanan uzama veya daralma miktarı, sıcaklıktaki değişmeden kaynaklanan uzama veya daralma miktarından daha fazla olmaktadır. Levhanın vizko-elastik davranışı nedeniyle bünyesindeki kalıcı gerilmeler ortam şartlarından kaynaklanan faktörler nedeniyle (rutubet ve sıcaklık) serbest kalmaktadır. Şekil 5'de 18 mm kalınlığındaki bir şerit yongalı levhanın kalınlığı boyunca tipik bir kalıcı gerilim profili verilmiştir. Şekil 5'deki eğri her biri 3 mm kalınlığındaki katların doğrusal kalıcı gerilimlerinden oluşmaktadır. Şekilde görüldüğü üzere levhanın kalınlığı boyunca alt ve üst yüzeylerindeki gerilme ile orta tabakadaki gerilme birbiri ile zıt yönde olup, yüzey tabakalarında daha yüksektir (Houts ve Diğ., 2001a).



Şekil 5. 18 mm kalınlığındaki bir şerit yongalı levhanın kalınlığı boyunca tipik bir kalıcı gerilim profili (Houts ve Diğ., 2001a).

Bu gerilmelerin giderilebilmesi için levhaların klimatize edilerek iyice soğutulmaları ve dinlendirilmeleri gerekmektedir. Bu işlem yapılmadan levhalar işlendiği takdirde, sonradan çarpılmalar oluşabilmektedir (Houts ve ark., 2001a). Şekil 6'da 4 farklı sıcaklık ve rutubet şartlarında kondisyonlanan MDF levhalarının levha yüzeyine paralel yönde çekme gerilimlerindeki değişim yüzdeleri verilmiştir (Houts ve ark., 2001a).



Şekil 6. Çeşitli sıcaklık ve rutubet ortamlarında kondisyonlanan MDF levhalarının ilk gerilimlerine oranla gerilimlerdeki azalma yüzdeleri (Houts ve ark., 2001a).

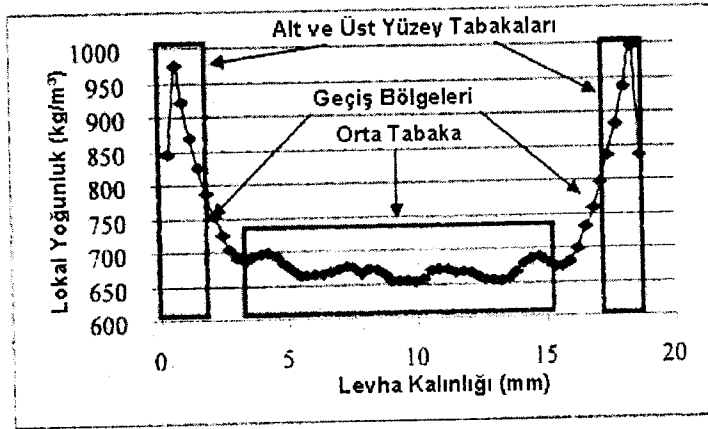
Şekil 6'da görüldüğü üzere MDF levhası sıcaklığı ve rutubet oranı gittikçe artan bir ortamda bekledikçe iç geriliminde daha fazla azalma meydana gelmektedir. MDF levhasının iç gerilimi hafifledikçe, buna bağlı olarak çarpılma riskinde azalma meydana gelmektedir.

2.1.3. Dikey yönde yoğunluk profilinin (değişiminin) etkisi

Dikey yoğunluk profili, levhanın orta ve yüzey tabakaları arasında kalınlık istikametindeki yoğunluk farkını ifade etmektedir. Yüksek yoğunluk profili, levha yüzey kalitesini, formaldehit emisyonunu, yüzey sertliğini ve eğilme direncini olumlu yönde etkilediği için bazı kullanım yerlerinde arzu edilen bir özelliktir. Dikey yoğunluk profilinin oluşumu, sıcak presleme işlemindeki en önemli ve karmaşık olaylardan biridir. Sıcak preslemede; ısı transferi, rutubet hareketi, gaz basıncı oluşumu, odun stres

azalması, lifler arasında yapışma ve yoğunluk profili gibi dinamik şartların birbirleri ile etkileşimi olmaktadır. Sıcak presleme esnasında sıcaklık, rutubet ve gaz basıncı birbirleri ile etkileşim içinde olup, levha kalınlığı boyunca ısı ve kütle transferini farklı oranlarda etkilemektedirler. Levhanın dikey yoğunluk profilini etkileyen en önemli faktörler; pres sıcaklığı, pres kapanma süresi, spesifik pres basıncı, taslak yapısı ve rutubeti, sıkıştırılma oranı, buhar basıncı, levha tabaka yoğunluğu ve presleme süresidir (Wang ve ark., 2001a).

Levha yoğunluğu ve yoğunluk profili, levhanın bütün özelliklerini etkiledikleri gibi MDF ve yongalevhanın çarpılması üzerine de etki eden en önemli iki faktördür. Şekil 7'de standart bir MDF levhasında alt ve üst yüzey tabakaları, orta tabaka ve bu tabakalar arasındaki geçiş bölgelerinin yoğunlukları görülmektedir (Ganev, 2002). Şekil 7'de görüldüğü üzere levhanın alt ve üst yüzey tabakalarından yaklaşık olarak 2 mm daha içeride olan kısım, levhanın orta bölgesiyle karşılaştırıldığında oldukça yüksek yoğunluğa sahiptir. Yüzey tabakaları ise iyice belirgin bir şekilde yüksek yoğunluğa sahiptir. Levhanın dikey yoğunluk profili, levha taslağına uygulanan sıcak presleme şartlarının bir sonucu olarak farklı şekillerde oluşabilmektedir. Endüstriyel levhaların dikey yoğunluk profilinde meydana gelen asimetric oluşum, çarpılma dahil olmak üzere levhanın birçok fiziksel ve mekanik özelliğini etkilemektedir.

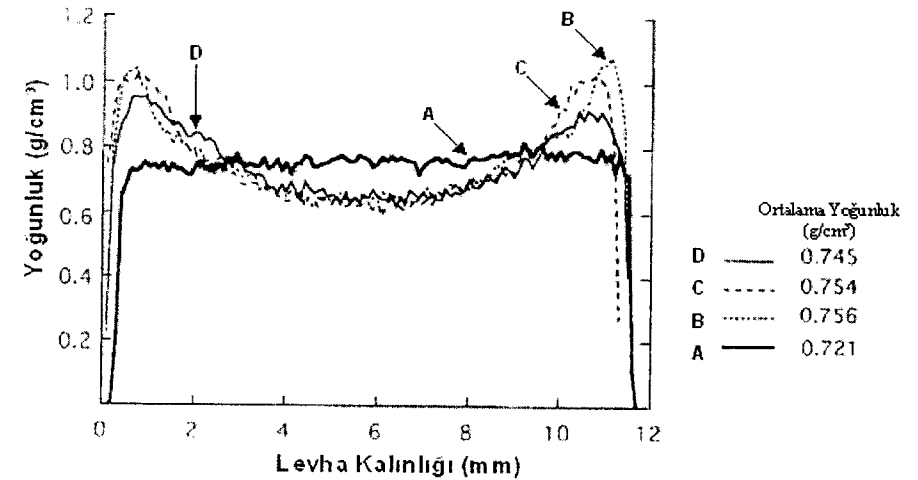


Şekil 7. 18 mm kalınlığındaki MDF'nin alt ve üst yüzey tabakaları, orta tabakası ve bu tabakalar arasındaki geçiş bölgelerinin yoğunluğu (Ganev, 2002).

Levha kalınlığı boyunca yoğunluğu her bölgede aynı olan (uniform yapıda) MDF veya yongalevhanın ortalama yoğunluğu arttığında, rutubetli bir ortamda çarpılma ihtimali artma göstermektedir. Benzer etkiler, levhanın dikey yoğunluk profilinin kontrastı arttığında da görülmektedir. Ortalama levha yoğunlukları benzer olan iki levhada, yoğunluk profili yüksek (orta ve yüzey tabakalar arasında yoğunluk farkı fazla) olan levhanın rutubetli bir ortamda çarpılma şiddeti (Şekil 8'de B profili), yoğunluk profili daha düşük (Şekil 8'de A profili) olan levhadan daha fazladır. Bu durum, levha yoğunluğunun boyuna uzama katsayısı üzerinde etkili olduğu ve bunun sonucu boyuna

uzama gerilmesinin artması ile açıklanabilmektedir. Levhanın kalınlığı boyunca yoğunluk meyli veya farkı arttıkça gerilme miktarı da artmakta ve bu yüzden çarpılma seviyesi daha fazla olmaktadır. Dış ortam bağıl neminde meydana gelen dalgalanmalara maruz kalan MDF veya yongalevhada çarpılma, adsorpsiyon ve desorpsiyon uzama katsayılarındaki histerez nedeniyle konveksten konkava doğru değişme göstermektedir (Ganev, 2002). Ayrıca, levhayı ince katlara (0.8-0.9 mm) diğer bir deyişle dilimlere ayrılmış olarak incelediğimizde, yoğunluk profili yüksek olan bir levhada levhayı oluşturan ince katlar arasındaki yoğunluk farklılığı, yoğunluk profili düşük olan levhadan daha fazla olmaktadır. Dolayısıyla, yoğunluk profili yüksek olan levha rutubetli bir ortama alındığında, levhayı oluşturan katlar arasında yoğunluk farklılığından kaynaklanan bir gerilim farklılığı oluşmaktadır. Bu levha katlarını birbirine bağılı olarak düşündüğümüzde, levha içerisinde bir gerilim oluşturmakta ve bu durum levhanın çarpılması ile sonuçlanmaktadır.

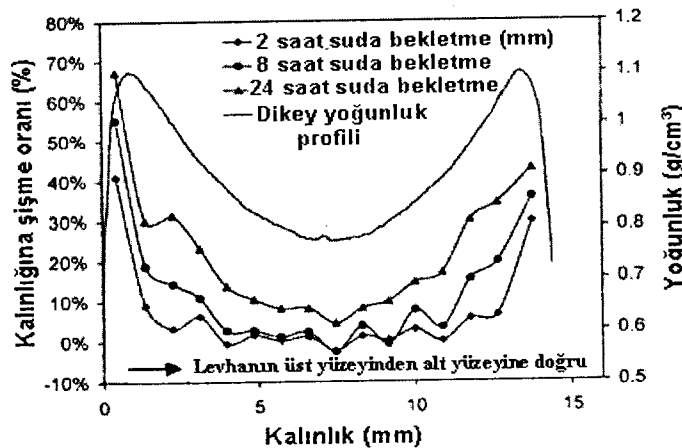
Dikey yoğunluk profili, levhanın kullanım yerine göre oldukça farklılık göstermektedir. Örneğin, benzer ortalama yoğunluğa sahip levhalarda, yüzeyi sıvı yüzey işlem malzemeleriyle kaplanacak levhaların yüksek yoğunluk profiline sahip olması arzu edilirken (Şekil 8'de B profili), profil verilecek levhalarda ise düşük yoğunluk profili (Şekil 8'de A profili) istenmektedir. Bundan dolayı bazı yoğunluk profilleri levhanın stabil formunun optimum da kalmasına engel olabilmektedirler. Buna neden olarak levha içerisinde yoğunluk profiline bağılı olarak bir rutubet profilinin de oluşmasıdır.



Şekil 8. Benzer ortalama yoğunluğuna sahip yongalevhada farklı yoğunluk profilleri (Wong ve ark., 1998).

Levha içerisinde rutubet profili de kalınlığına şişme oranını ve boyuna yönde uzama oranını değiştirdiğinden levhanın çarpılmasına neden olmaktadır (Wang ve ark.,

2001b). MDF'nin yoğunluk profilinin kalınlığına şişme üzerine etkisi araştırılmış ve bu amaçla levha kalınlık boyunca 16 dilime ayrılmak suretiyle kat kalınlığının ve kat yoğunluğunun levha kalınlık artışı üzerine etkisi tespit edilmiştir (Wang ve ark., 2001b). MDF'nin alt ve üst yüzey tabakalarının kalınlığına şişme oranları, orta tabakadan belirgin bir biçimde daha yüksek çıkmış, suda bekleme süresi arttıkça buna bağlı olarak kalınlık artışının da yükseldiği tespit edilmiştir. Benzer bir sonuç Winistorfer ve ark. (1999) tarafından tespit edilmiş olup, levhanın suda bekleme sonucu her bir katındaki kalınlık artışı, levhanın yoğunluk profiline benzer bir eğilim göstermiştir (Şekil 9). Levha yüzey tabakalarının kalınlığına şişme oranı, orta tabakaya göre yüksek çıkmasına karşın, suda bekleme süresi arttıkça toplam kalınlığına şişme oranı içerisindeki payı azalma göstermiş, orta tabakanın oranı ise yükselme göstermiştir. Yüksek yoğunluklu yüzey tabakalarının ilk 2 saat boyunca levhanın toplam kalınlık artışındaki oranı %90-100 arasında iken, süre 24 saate çıktığında bu oranın %80-90'a düştüğü belirlenmiştir. Buradan, MDF'nin katlarının yoğunluğu ve kalınlığına şişme oranı arasında kayda değer bir ilişki tespit edilmiş ve iki tepe noktalı yoğunluk profiline sahip levha, yoğunluk profiline benzer şekilde iki tepe noktalı kalınlığına şişme profili göstermiştir (Şekil 9). Ayrıca, levhanın üst yüzeyinin alt yüzeyine göre daha fazla şişme gösterdiği tespit edilmiştir. Levhanın kalınlığına şişme oranını azaltmak amacıyla yapılacak çalışmaların, levhanın yüksek yoğunluklu yüzey tabakalarının boyut stabilitesinin iyileştirilmesi üzerine odaklanması gerektiği belirtilmektedir.



Şekil 9. MDF levhasının suda bekleme sonucu kalınlığı boyunca her bir katındaki kalınlık artışı ve dikey yoğunluk profili (Winistorfer ve ark., 1999).

Levhanın orta bölgesinden yüzeyinde doğru yer alan ince katların levha özellikleri üzerine etkileri de farklı olmaktadır. Örneğin, tipik üç tabakalı yongalevhada eğilme momentinin üçte biri orta tabaka ile sağlanırken üçte ikisi ise levha kalınlığının %40'ını oluşturan yüzey tabakaları tarafından karşılanmaktadır. Buradan eşit yoğunluk

esas alındığında, levhanın yoğunluk profili keskinleştikçe yüzey tabakalarının boyutsal stabilite dahil olmak üzere levhanın performansı üzerine olan etkileri de o kadar fazla olmaktadır. Dolayısıyla, levha kalınlığı boyunca yer alan farklı yoğunluktaki levha katlarında rutubet hareketi ve değişimi levha dengesini değiştireceğinden, oluşan iç gerilimler levhada çarpımalara neden olmaktadır. Sonuç olarak rutubet, MDF veya yongalevha içerisinde levha kalınlığı boyunca (rutubet profili) uniform bir şekilde dağılmadığı takdirde, levha özellikleri de buna bağlı olarak değişme gösterecektir.

Levhanın yoğunluk profili üzerine etki eden önemli faktörlerin başında yukarıda ifade edildiği üzere sıcak pres kapanma süresi gelmektedir. Pres kapanma süresi, pres platenlerinin taslağa ilk basınç uygulamasından sonuç levha kalınlığı elde edilinceye kadar geçen süredir. Pres kapanma süresi, preste uygulanan basıncın bir fonksiyonudur. Pres kapanma süresinin uzaması, sadece yüzey tabakalarının plastikleşme oranını arttırmayıp, bunun yanı sıra levhanın orta tabakasının sıcaklığını da arttırmaktadır. Bunların sonucu olarak, levhanın sahip olduğu gerilimin maksimum değerinde bir azalma meydana gelmektedir (Wang ve Winistorfer, 2000). Levhanın gerilimindeki azalma ise çarpılma riskini azaltmaktadır.

Wang ve ark. (2001b) levha üretiminde sıcak presleme esnasında kademeli pres kapanma süresinin levhanın yoğunluk profilini önemli ölçüde değiştirdiğini tespit etmişlerdir. Zira, kademeli pres kapanma süresi ile geleneksel presleme sonucu elde edilen iki tepe noktalı yoğunluk profilinden daha fazla sayıda tepe noktalı yoğunluk profili elde edilmiştir. Kademeli pres kapanma süresinin uygulanması sonucu olarak levhanın yüzey tabakalarının yoğunluğu azalırken orta tabaka yoğunluğu artmaktadır.

2.1.4. Yatay yönde yoğunluk profilinin etkisi

Levhanın yatay yönde (levha yüzeyine paralel yönde) yoğunluk profili de dikey yoğunluk profilinde olduğu gibi çarpılma üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Tutkallama makinelerinde tutkallanan yongaların veya liflerin yeknesak bir taslak halinde serilmesi ve presleme işlemine hazırlanması yongalevha ve MDF üretiminin en önemli kısmını teşkil etmektedir. Zira, bu safhada yapılacak hatalar, örneğin yonga veya lif dağılımındaki yeknesaklıkta meydana gelecek bir hata, levhanın yatay yönde yoğunluk profilinde veya diğer bir deyişle özgül ağırlığında değişmelere neden olacaktır. MDF ve yongalevhanın yoğunluğu levhanın uzun kenarına paralel ve dik yönde aynı olmalıdır. Bu ise serme sisteminin hatasız çalışmasına bağlıdır. Aksi takdirde, yoğunluğu farklı kısımlarda meydana gelen farklı miktarlardaki çalışma, levhanın çarpılmasına önemli ölçüde neden olmaktadır. Ayrıca yongalevha üretiminde normalden büyük yongalar, levha taslağı oluşturulurken serme makinelerinde üniform bir şekilde yayılmadığından, daha sonra bu yongaların bulunduğu kısımlar ile etrafındaki kısımların rutubet değişimlerine farklı tepki vermesi, levhanın çarpılmasına neden olabilmektedirler (Bozkurt ve Göker, 1990). MDF levhalarında yatay yönde yoğunluk değişimi TS 64-1 EN 622-1 (2005) standardına göre en fazla %7 olarak, yongalevhada ise TS EN 312 (2005) göre en fazla %10 olarak belirtilmiştir. Ancak, standarttaki değerler oldukça fazladır.

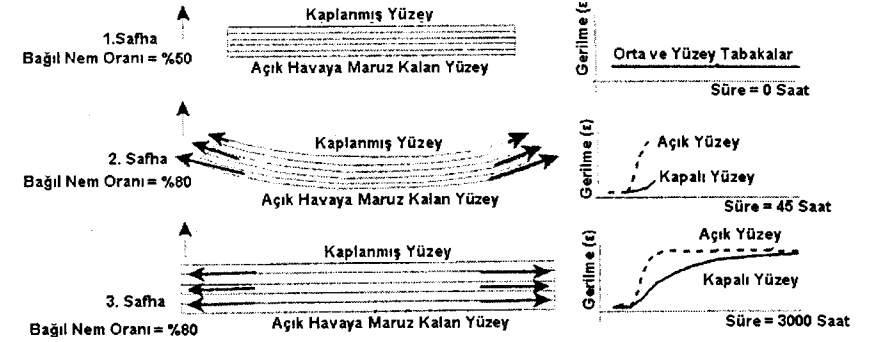
2.1.5. Asimetrik zımparalamanın etkisi

MDF ve yongalevhada kalınlık hatalarını gidermek, düzgün ve az pürüzlü bir yüzey elde etmek amacıyla zımpara makinelerinde zımparalanmaktadır. Zımparalamada dikkat edilecek en önemli hususlardan biri, levhanın alt ve üst yüzeyine dengeli bir zımparalama yapılmasıdır. Aksi takdirde, zımparalama işleminde levhanın alt ve üst yüzeylerinden aynı miktarda alınmaz ise levhanın orta bölgesine göre alt ve üst kısmının simetrisi bozulacağından yüzeylerin yoğunluğu birbirinden farklı olacaktır. Rutubet değişimlerinde levhanın her iki yüzeyinin rutubet alması ve çalışması farklı olacak, oluşacak gerilim neticesinde levhanın çarpılması kaçınılmaz olacaktır.

2.1.6. Yüzey kaplama malzemelerinin etkisi

Laminat veya ahşap kaplama gibi yüzey kaplama malzemelerini, MDF veya yongalevha gibi taşıyıcı levha üzerine yapıştırma işleminde, yüzey kaplama malzemeleri ve taşıyıcı levhanın uzama ve daralma karakteristiklerindeki farklar levhada şekil değişimlerine neden olan gerilimler oluşturabilmektedir. Maliyet ve dekoratif görünüş nedeniyle levhanın tek taraflı kaplanması veya levhanın karşı yüzeyinin farklı bir kaplama malzemesi ile kaplanmasına yönelik bir endüstriyel eğilim görülmektedir. Bunun sonucu olarak, kullanım yerindeki ortamın denge rutubet miktarına bağlı olarak, levha kalınlığı boyunca bir rutubet meyli oluşmaktadır. Bu durum, levhada asimetrik gerilimlere neden olmaktadır.

Şekil 10'da görüldüğü üzere sadece bir yüzü kaplı olan MDF levhası %50 bağıl nem ortamında uzun süre beklediğinde denge rutubeti ortalama %6 olup, levha içindeki gerilmeler stabil kalmaktadır. Bu durumda levha düz bir formda kalabilmektedir (Şekil 10, 1.safha). Ancak levha bağıl nemi daha yüksek olan (%80) bir ortama taşındığında, rutubet levhaya nüfuz etmeye başlamaktadır. Rutubetin levhaya nüfuzuyla (yaklaşık 45 saat kadar sonra), levhanın açık yüzeyli olan tarafına yakın olan farklı yoğunluktaki ince levha katlarının gerilimi maksimum seviyede olurken, kaplı yüzeye yakın taraftaki katlarda rutubet oranı henüz değişmediğinden gerilimi daha düşük olmaktadır. Böylece levha kalınlığı boyunca kaplı olan yüzey ile açık olan yüzey katları arasında rutubet değişiminden kaynaklanan önemli bir gerilim ortaya çıkmakta ve bu noktada levha maksimum çarpılmayı (biçim bozukluğu) göstermektedir (2.safha). Bir süre sonra rutubetin levha kalınlığı boyunca kaplı olan yüzeye doğru ilerlemesiyle kaplı ve açık yüzeyler arasındaki rutubet farklılığı azalmaya başlamakta ve buna bağlı olarak da katlar arasındaki gerilim de azalmaktadır. Sonunda (3000 saat kadar sonra) levhanın kalınlığı boyunca rutubet dağılımı dengeye ulaştığında, gerilim de dengeye ulaşmakta (gerilim farklılığı ortadan kalmakta) ve levha tekrar önceki düz formuna ulaşmaktadır (3. safha).



Şekil 10. Bir yüzü açık ve diğer yüzü kaplanmış MDF'nin bulunduğu ortam bağıl neminin %50'den %80'e çıkması ile meydana gelen çarpılma şekli (Ganev, 2002).

MDF veya yongalevha gibi taşıyıcı levhaların her iki tarafına uygulanan laminatlar ve/veya yüzey kaplama malzemelerinin özellikleri benzer olmalıdır. Taşıyıcı levhanın alt ve üst yüzeylerinin kaplanmasında kullanılacak kaplamalarının aynı kalınlıkta ve rutubette olmaları kaplanmış levhanın düzgünlüğü sağlamak ve sonradan bir tarafa doğru dönmesine engel olmada önemlidir. Ayrıca, levhanın denge rutubet miktarından farklı bir denge rutubetine sahip laminatlar veya ahşap kaplama malzemeleri levhanın yüzeylerine uygulanmamalıdır. Eğer bu şekilde yapılırsa rutubet miktarı dengelendiğinde MDF veya yongalevha genişleyebilir veya daralabilir. Laminat ve taşıyıcı levha esnemeyen (sert ve katı) bir tutkalla levhaya yapıştırıldığında birbirleriyle uyumlu bir biçimde hareket edemeyeceklerdir. Bu durum, taşıyıcı levha ve laminat ara yüzeyi arasında gerilimler oluşturarak, levhanın şekil değişimine uğramasına neden olabilir. Laminat, ahşap kaplama gibi yüzey kaplama malzemeleri ile MDF veya yongalevha yüzeylerinin kaplanmasında aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir (Maloney 1976; Formica, 2004; Anonim, 1997; Anonim, 2005):

1. Levhanın her iki yüzüne eşit miktarda tutkal sürülmeli,
2. Gereğinden fazla veya az tutkal sürülmemeli,
3. Sıcak preste tutkalın tam olarak sertleşmesi sağlanmalı,
4. Pres süresi ve sıcaklığı normalden fazla uzatılmamalı,
5. Kaplanacak levhaların prese yüklenmesi veya boşaltılması mümkün olduğunca hızlı olmalı,
6. Presin tek bir katında iki ince levha birlikte preslenmemeli,
7. Pres katları içinde veya katlar arasında sıcaklık farklılığı olmamalı,
8. Levhanın alt ve üst yüzeyine yapıştırılan ahşap kaplamalar farklı ağaç türlerinden üretilmemeli, farklı rutubet veya kalınlıklarda olmamalıdır. Yüzey kaplamadan önce, ahşap kaplamanın ve levhanın rutubet miktarının ortalama %7 olması idealdir,
9. Ahşap kaplamalarda çekme odunu, lif kıvrıklığı gibi kusurlar olmamalı,

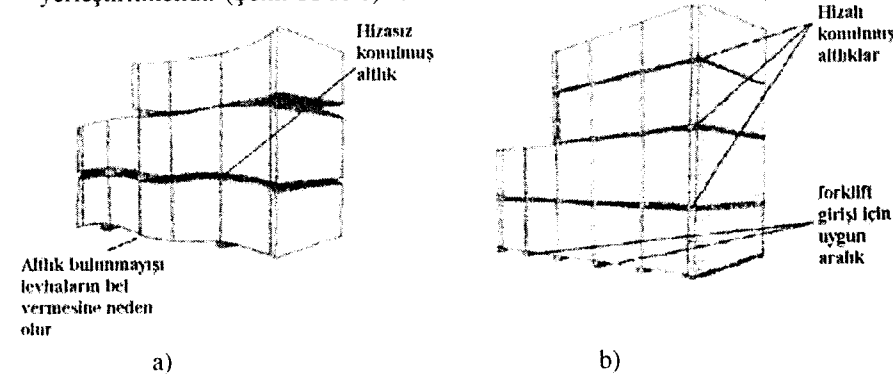
10. Her iki yüzeye yapıştırılan ahşap kaplama veya melamin kağıdın lif/makine yönleri aynı olmalı. Alt ve üst yüzeye yapıştırılan kaplamaların lif yönü (zımpara yönüne paralel) levhanın her iki yüzeyinde de aynı yönde olmalıdır. Çünkü laminat, genişliği yönünde uzunluğa göre iki kat daha fazla çalışmaktadır,
11. Çok ince levhaya kalın bir yüzey kaplaması yapıştırılmamalı,
12. Levhanın her iki yüzeyine de kaplanacak reçine emdirilmiş kağıtlar, aynı ağırlıkta ve tipte olmalı, aksi takdirde farklı rutubet ve sıcaklık ortamlarında her iki yüzdeki kağıt uyum sağlayamayacaklardır. Tek tarafı kaplanmış levhada, levha kaplanmış tarafa doğru dönmektedir. Levhanın üst tarafına dekoratif laminat, diğer tarafı ise astar/balans kağıdı ile kaplandığında, rutubetli bir ortamda astar/balans kağıdı kaplı taraf bir gün içerisinde maksimum gerilmeye sahip olurken, dekoratif laminat bir hafta içerisinde ulaşmaktadır. Kaplanmış levhada oluşan bu gerilim farklılığı rutubetli bir ortamda çarpılmaya neden olmaktadır,
13. İdeal olarak kaplama malzemeleri ve taşıyıcı levhalar nihai ürün uygulama ortamına benzer rutubet şartlarında birleştirilmeli (montaj yapılmalı) ve depolanmalıdır. Bu maksatla, kaplama malzemeleri ve taşıyıcı levhalar iki ve ya daha fazla hafta kullanım yeri rutubet miktarında kondisyonlanmalıdır. Aksi takdirde, levha rutubeti kullanım yeri rutubetinden farklı olmakta ve bu durum özellikle birleşme yerlerinde (örneğin mutfak dolapları) çekmeler veya genişlemelere neden olmaktadır,
14. Levha ve yüzey kaplama malzemesinin (kaplama veya laminat) uzama ve daralma karakteristiklerinden kaynaklanan farklılıklar kaplanmış levhanın çarpılmasına neden olan gerilmeleri oluşturabilmektedir,
15. Yüzey kaplama malzemesi ve levha sert bir tutkalla (esnek olmayan-rigid) yapıştırıldığında, rutubetli bir ortamda levha ve kaplama malzemesi farklı uzama karakteristiklerinde olduklarından, birbirleriyle uyumlu bir uzama veya kısalma davranışı gösteremezler. Bu durum kaplama ve levha arasında gerilim oluşturarak levhanın çarpılmasına neden olabilmektedir,
16. Laminat yapıştırılmış levhaların, kullanıldıkları yerde eğilme ve bükülme oluşmayacak şekilde sıkıca monte edilmeleri gerekmektedir,
17. Presten çıkan sıcak haldeki levha yeterince soğumadan işlenmemeli ve zımparalanmamalıdır. Sıcak haldeki levhalar, çok soğuk olmayan düz bir zemin üzerine 50°C ya da tercihen daha düşük dereceye ininceye kadar istiflenmemeli veya aynı kalınlıktaki ve birbirine yakın dizilmiş istif çitalarının üzerinde en az 8 saat soğumaları beklenmelidir,
18. Levhalar gerilime neden olan burulmaya veya eğilmeye engel olmak için sıkı bir şekilde sabitlenmelidirler.

Görüldüğü üzere kaplanmış MDF ve yongalevhanın çarpılması üzerine birçok faktör etki etmektedir. Levha yüzeyine yapıştırılan ahşap veya laminat esaslı kaplamalar aynı ortam şartlarında boyuna yönde levhanın kendisinden daha fazla uzamaktadırlar. Dolayısıyla, çarpılmaya sadece levha neden olmayıp, yüzeyine kaplanan malzemenin de önemli etkisi vardır. Çarpılma olmaması için çarpılmaya neden olan faktörlerin dikkate alınıp, gerekli uygulamalar yapılmalıdır.

2.2. İstif şartlarının etkisi

MDF ve yongalevhanın çarpılmasına yönelik olarak önceki bölümlerde bahsedilen faktörlere ne kadar dikkat edilirse edilsin istiflemenin uygun yapılmaması, levhaların çarpılmasına neden olabilmektedir. Levhaların depolanmasında dikkat edilecek hususlar aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir:

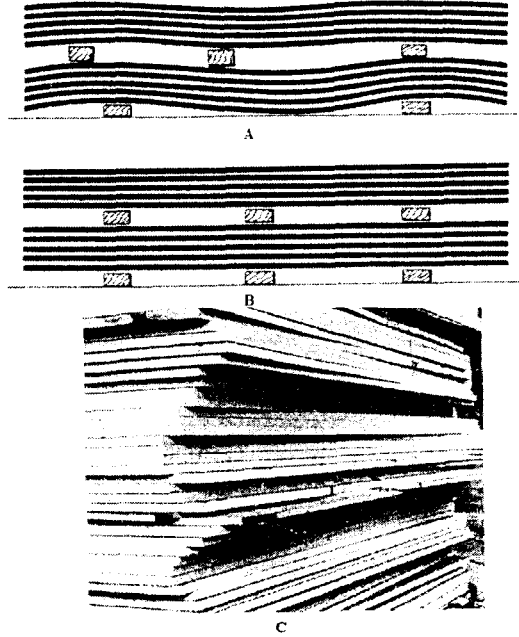
1. Levhalar yatık pozisyonda depolanmalı ve asla açık havada istiflenmemelidir. Bunun yerine kapalı ortamda, kuru, temiz ve iyi havalandırılmış alanlarda istiflenmelidir,
2. Deponun rutubetli, aşırı sıcak ve soğuk oluşu malzemenin rutubet miktarını değiştirmekte ve çarpılmaya neden olmaktadır. Sıcaklık ve rutubetin ekstrem olabileceği depo şartlarından kaçınılmalıdır,
3. Levhalar depoda kesinlikle dikey yönde duvara dayalı olarak istiflenmemelidir. Bu durum levhaların bir tarafa doğru bel vermesine neden olacağı gibi levha içerisinde gerilim oluşturmakta ve bu gerilim kesilen parçalarda serbest kalarak çarpılmalarına neden olabilmektedir. Levhalar yatay olarak temiz bir zemine kuru taşıyıcı takozlar (rutubet miktarı % 6-8) kullanılarak istiflenmelidir. İstifler arasında yeterli boşluk bırakılmalıdır. Zemin eğer rutubetli ise zemine polietilen şilte konularak rutubetten korunabilir,
4. Taşıyıcı takozlar levhanın eni doğrultusunda yerleştirilmeli ve üst üste konan istiflerde altlıklar düşey yönde aynı hizada olmalıdır. Ayrıca istifteki bütün levhaların dört kenarı aynı hizada olmalıdır. Kenarların en az hasar görmesini sağlamak için bütün levhaların uçları birbirinin tam hizasına gelecek şekilde yerleştirilmelidir (Şekil 11'de b). Üst üste en fazla 5 istif konmalıdır,



Şekil 11. Hatalı (a) ve düzgün yapılmış (b) istif şekilleri, (Anonim, 1997)

5. Takozlar eşit kalınlıkta ve genişlikte olmalı, takozlar arası açıklıklar; kalınlığı 15 mm ve üzeri olan yongalevhalar veya liflevhalar için 80 cm'den daha fazla olmamalıdır. İnce levhalarda takozlar arası açıklık levha kalınlığının 50 katından daha fazla olmamalıdır. Eğer taşıyıcı takozlar hizasız yerleştirilir veya farklı kalınlıklarda olurlarsa yükü eşit paylaşamayacaklar ve levhalarda

kalıcı eğilmeler ve iç gerilmeler oluşacaktır (Şekil 12). Özellikle profil amaçlı MDF levhaları işlendiğinde levhalar iç gerilmenin bir anda serbest kalmasıyla kısa sürede çarpılma gösterecektir,



Şekil 12. İstifler arasında hatalı (A) ve doğru yerleştirilmiş (B) taşıyıcı takozlar ile düzensiz yapılmış bir istif (C), (Anonim, 1997).

6. İstifleme sırasında levhalar yaklaşık olarak her 70 cm yükseklikten sonra tekrar taşıyıcı takoz ile desteklenmelidir,
7. Levhaların sıcak halde (soğutulmadan) işlenmesi de kılıcına eğilmeye neden olmaktadır. Levhaların sıcak pres sonrası klimatizasyonu çok önemli olup, bu işlemde levhaların soğuması (50-60°C), özellikle tutkalla ilgili olarak henüz tamamlanmamış olan reaksiyonlarının tamamlanması ve uygun denge rutubetine gelmeleri için önemlidir. Sıcak olarak istiflenen levhalar her zaman uygun olmayan freze kalitesi vermekte ve bu şekildeki levhalardan elde edilen profil verilmiş malzemelerde çoğunlukla oluklaşma ve kılıcına eğilme gibi çarpılmalar görülmektedir. Levhalar, üre-formaldehit tutkalından üretiliyse sıcak presten sonra sıcaklığı (70°C) düşürülmeden istif edilirse, tutkal rutubetin etkisiyle hidroliz olmaktadır,
8. Yaz mevsiminde eğer levha, hava sıcaklığından daha düşük bir sıcaklığa sahipse imalata girmeden önce sıcaklığı artırılmalıdır. Kışın ise tam tersine levha sıcaklığı azaltılmalıdır. Daima, levha kesilmeden önce sıcaklığı ortamdaki havanın sıcaklığına getirilmelidir,

9. İstifin altına ve üstüne koruma levhaları yerleştirilerek uzun süreli depolamada çevreden gelebilecek zararlarda koruma sağlanabilir. İstifin altına ve üstüne koruma levhaları konmadığı takdirde ve istifin en üstteki levhasında havanın rutubetinin etkisi sonucu yukarıya dönme gibi şekil bozukluğu olmaktadır. Ayrıca istifin üzeri güneşin etkisinden korunmasının yanı sıra direkt zeminle teması önlenmelidir.

3. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada MDF ve yongalevha endüstrisinde en fazla sıkıntıya neden olan sorunların başında yer alan biçim bozukluğu yani çarpılma konusu kapsamlı olarak ele alınmıştır. Çarpılma riskini azaltmak için, levha üretiminde ve levhaların istiflenmesinde bahsedilen önlemlerin alınması gerekmektedir. Bunun yanı sıra rutubet değişiminin levhanın çarpılmasına olan etkisini azaltmak için, özellikle sıcak preslemeden kaynaklanan kalıcı gerilmeler azaltılmaya çalışılmalı, zımparalama sırasında alt ve üst yüzeylerden eşit miktarda alınmalı, çok yüksek dikey yoğunluk profilinden kaçınılmalı ve buna bağlı olarak pres kapanma süresine dikkat edilmelidir. Ayrıca, levha ortalama yoğunluğunun yüksek olması da çarpılma için bir risk teşkil etmektedir. Levha ne kadar mükemmel olursa olsun gerek alt ve üst yüzeyine uygulanan yüzey kaplama malzemelerinin farklı kalınlık, yoğunluk ve tiplerde olmasından ve gerekse yukarıda bahsedilen hususlara dikkat edilmeden kaplanmasından dolayı rutubetin etkisiyle çarpılmaya neden olan asimetrik gerilim meydana gelmektedir. Sonuç olarak, çarpılma riskine neden olan faktörlere karşı gerek üretim sırasında ve gerekse üretimden sonra gerekli tedbirlerin alınması üreticiler ve kullanıcılar için yararlı olacaktır.

Kaynaklar

- Bozkurt, A.Y. ve Y. Göker, 1990.** Yongalevha Endüstrisi. Ders Kitabı. İ.Ü. Yayın No: 3614, Orman Fak. Yayın No: 413, İstanbul.
- Anonim, 1997.** Composite Panel Association. Dimensional Stability of MDF and Particleboard. Technical Bulletin, Maryland, USA.
- Anonim, 2005.** Composite Panels: Particleboard and Medium-Density Fiberboard. Architectural Record. Publication no:12.05 Weyerhaeuser Incorp. p:299-306.
- Formica, 2004.** Dimensional Movement. Technical Bulletin. www.formica.co.uk/.../Installation/design_issues. (Ziyaret tarihi 17/01/2007).
- Ganev, S., 2002.** Modeling of the Hygromechanical Warping of Medium Density Fiberboard. Ph.D. Thesis. University of Laval, Quebec, Canada.
- Houts, J.V., D.B. Bhattacharyya ve K. Jayaraman, 2000.** Determination of Residual Stres in Medium Density Fiberboard. *Holzforschung*. 54:176-182.
- Houts, J.V., D.B. Bhattacharyya ve K. Jayaraman, 2001a.** Reduction of Residual Stress in Medium Density Fiberboard. part 1. Taguchi Analysis. *Holzforsch:ing*.

55:67-72.

- Houts, J.V., D.B. Bhattacharyya ve K. Jayaraman, 2001b.** Reduction of Residual Stress in Medium Density Fiberboard. part 2. Effects on Thickness Swell and Other Properties. *Holzforschung*. 55:73-81.
- Maloney, T., 1977.** Modern Particleboard and Dry Process Fiberboard Manufacturing. Miller Freeman Publications, CA, USA.
- Suchsland, O., Y.G. Feng ve D.P. Xu, 1995.** The Hygroscopic Warping of Laminated Panels. *Forest Products Journal*. 45(10):57-63.
- Suchsland, O. ve G.E. Woodson, 1991.** Fiberboard Manufacturing Practices in the United States. United States Department of Agriculture, Forest Service. Agriculture Handbook No.640., USA.
- Wang, S. ve P. Winistorfer, 2000.** Consolidation of Flakeboard Mats Under Theoretical Laboratory Pressing and Simulated Industrial Pressing. *Wood and Fiber Science*. 32(4): 527-538.
- Wang, S., P. Winistorfer, T.M. Young ve C. Helton, 2001a.** Step-Closing Pressing of Medium Density Fiberboard. part 1. Influences on the Vertical Density Profile. *Holz Als Roh- Und Werkstoff*. 59:19-26.
- Wang, S., P. Winistorfer, T.M. Young ve C. Helton, 2001b.** Step-Closing Pressing of Medium Density Fiberboard. part 2. Influences on Panel Performance and Layer Characteristics. *Holz Als Roh- Und Werkstoff*. 59:311-318.
- Winistorfer, P.M., S. Wang ve W.W. Moschler, 1999.** Vertical Density Profile-Thickness Swell Relationship in Wood-Based Panels. USDA National Research Initiative Competitive Grants Program. Final Report. Grant No. 95-37103-2104, TN, USA.
- Wong, E.D., M. Zhang, Q. Wang ve S. Kawai, 1998.** Effects of Mat Moisture Content and Press Closing Speed on the Formation of Density Profile and Properties of Particleboard. *Journal of Wood Science*. 44:287-295.
- TS 64-1 EN 622-1, 2005.** Lif Levhalar - Özellikler – Bölüm 1: Genel özellikler, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 312, 2005.** Yonga levhalar – Özellikler, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.