

POLİMER ESASLI LİF TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMELERİN ARABİRİM MUKAVEMETİ ÜZERİNE FARKLI KÜR METOTLARININ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

*Yusuf ULCA Y**
*Mihriban AKYOL**
*Remzi GEMCİ***

Özet: Kompozit malzemeler, sağladıkları avantajlar ve uygulama alanlarındaki çeşitlilik dolayısı ile bugün tekstil dünyasında önemli bir yer işgal etmektedir. Kompozit yapıda bağ oluşturma nın neredeyse sonsuz bir konfigürasyonda ortaya çıkarılabilme imkanı, bu konuda yeni araştırmalara ve gelişmelere yol açmıştır. Kullanılan matriks elemanı, takviye elemanı ve kür işleminde uygulanan ortam, kompozitlerin kür işlemini tanımlayan üç ana unsurdur.

Bu çalışmada, laboratuardaki test sonuçlarıyla ortaya konan farklı kür metotları irdelenmiştir. Laboratuarda aynı tip reçinenin farklı miktarları, farklı kumaşlar üzerinde, farklı ortamlarda ve değişik sürelerde kür edilmiş, sonuçları ortaya konmuştur. Özellikle iki grup ortam tipi; mikrodalga ve radyo-frekans ile fırın ve normal atmosfer ortamlarının birbirleri arasındaki farklar gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Lif, Kompozit Malzeme, Kur Metodu.

Investigation of Different Cure Methods on The Interfacial Strength of Polymer Based Fiber Reinforced Composites

Abstract: Given the advantages of fiber reinforced composite materials provide, and the variety of applications that can be used, they have become a significant part in textile world. The major effect was on versatility of composite materials that lead continuous improvements on the new techniques of application methods. The curing method of polymeric fiber reinforced composites are defined in terms of the matrix material, the reinforcing material, and the ambience in which the curing method is applied.

This paper compares different curing methods by the test results obtained in the laboratory. In the laboratory, different amounts of the same type of resin have been applied for different type of reinforcing materials, and in different ambience's. In particular, the fundamental purpose of this paper was to find out the effects of microwave and radio-frequency ambience's compared to the traditional oven and normal atmosphere ambience's.

Key Words: Fiber, Composite Material, Cure Methods.

1. GİRİŞ

Kompozit malzemede, matriks malzeme ile takviye elemanının birbiriyle iyi bir arabirim oluşturacak şekilde bir araya gelmesi için uygun bir kür ortamının oluşturulması gereklidir. Bu kür ortamı içinde, uygun süre ve sıcaklıklar seçilmelidir. Bu noktaların en iyi sonuca varacak şekilde bir araya getirilmesidir.

Teknik uygulamalarda metallerin önemli yeri varken, kompozit malzemeler, düşük yoğunlukları, düşük üretim kayıpları ve kolay şekil alabilme kabiliyetleri nedenleri ile cazip hale gelmiştir. Kompozit malzemeyi oluşturan elemanlar, kullanılan ortamlar, ortamların özellikleri ile ilgili olarak sürekli yeni çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmanın amaçlarından biri ve en önemlisi de tekstil malzemelerinin oluşturduğu kompozit yapının, Mikrodalga (MD) ve radyo frekans (RF), normal fırın ve atmosferdeki kür şartlarının incelenmesidir.

MD ve RF son yıllarda önemli gelişmeler gösteren yüksek frekans sistemleridir. Kür işlemleri yanında ısıtma ve kurutmada kullanımları hızla artmaktadır. Ancak kullanım şartlarının çok iyi tespiti gereklidir. Uygun koşullar seçilebildiğinde özellikle zamandan çok iyi tasarruf edilebilir ve üretimde önemli kazançları sağlar. Konvansiyonel kurutma sistemleri ile beraber de sağlıklı çalışmalar yapılabilir.

* Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü, Bursa.

** Tekstil Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Karacasu, Kahramanmaraş.

Çalışmada kullanılan kumaşlar hem kompozit yapıda hem de tek başlarına sözü edilen ortamlardaki işlemlerinden sonra mukavemet testine tabi tutulmuştur. Sonuçta, işlem sürelerinin, büyük oranda, kompozit yapı arabirim bağ kuvvetinde ve arabirimde oluşan enerji üzerinde etkili olduğu görülmüştür.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1 Kompozit Yapılar

İki veya daha fazla malzemenin, iyi özelliklerini bir araya toplamak ya da ortaya yeni bir özellik çıkarmak için, mikro veya makro seviyede heterojen karışımıyla oluşan malzemeye **Birleşik** veya **Kompozit Malzeme** denir. Kompozit yapı oluşumuyla geliştirilmesi istenen özelliklerin birkaçı şöyle sıralanabilir;

- yorulma dayanımı,
- aşınma dayanımı,
- korozyon dayanımı,
- kırılma tokluğu,
- yüksek sıcaklık özellikleri,
- elektrik iletkenliği,
- ısı iletkenlik,
- akustik iletkenlik,
- ağırlık,
- rijitlik,
- fiyat ve
- estetik görünüm gibidir (Aran 1990).

2.2. Kompozit Elemanları

Kompozit malzemeyi oluşturan iki ana madde vardır: **Matriks** ve **Takviye Elemanı**. Matriks takviyelendirilen malzemedir ve takviye elemanından daha az mukavimdir. Tablo II.II.I'de matriks ve takviye elemanı tipleri ve oluşan kompozit yapının tipi görülmektedir;

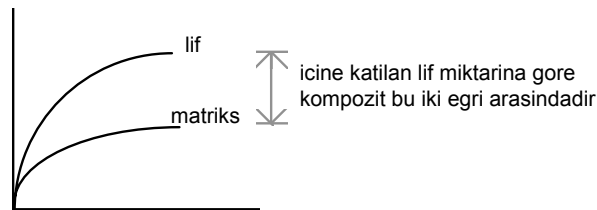
Tablo I. Matriks, Takviye Elemanı ve Kompozit Yapı Tipleri

Matriks Malzemeleri	Takviye Elemanları	Kompozit Yapının Şekli
Polimerler	Lifler	Tabakalar
Metaller	Whiskers	Film – Folye
Seramikler	Pudra	Honey – Combs
	Yonga	Filament Sarılmış Yapılar
	Granül	Kaplamalar

2.2.1. Takviye Elemanları

Kompozit malzeme, genellikle lif ve matriks olmak üzere, en az iki malzemeden oluşur. Aşağıdaki şekilde lif ve matriksin çekme-uzama eğrileri görülmektedir;

σ (çekme)



ϵ (uzama)

Şekil 1:
Çekme - Uzama Eğrisi

Lif takviyeli kompozit malzemelerin üretim ve tasarımındaki teknolojik gelişmeler, üretim maliyetindeki düşüş, sistem verimliliğindeki gelişme, emniyet ve güvenilirlik gibi aşamalara gelmesini sağlamıştır. Ayrıca malzemenin farklı şekillere kalıplanabilir olması tasarımcıyı metalin kesilmesi ve şekil verilmesi gibi zorluklardan bağımsız kılmıştır.

Kompozit yapıda lif seçimine etki eden etmenler ise şunlardır:

- Hafiflik (ölgül ağırlık)
- Mukavemet ve modül (çekme ve basma)
- Yorulma mukavemeti
- Yorulmadaki kopma mekanizması (malzemenin gevrek ya da sünek olması)
- Elektrik ve ısı iletkenliği
- Ekonomiklik (Ulçay 1989).

2.2.2. Matriks Malzemeleri

Matriks kompozit malzemelerin ikinci ana bileşenidir. Lifin istenen başarıyı göstermesi uygun matriks seçimine bağıdır. Matriksin başlıca görevleri;

- Kuvvetleri liflere iletmek,
- Lifleri, korozyon ve oksidasyon gibi, ortamın etkisi ve darbelerden korumak
- Bittiğinde istenen özelliklere uygun olması,
- Maliyet,

Matriks seçiminde, malzemenin nem ve su alma özelliklerinin de göz önünde bulundurulması gereklidir. Kayma sertliği, boyuna olan basınç mukavemeti, uzaması, kopması, yorulması, darbe özellikleri de çok önemlidir. Matriksin yüksek bir kayma modülüne sahip olması istenir. Böylece kompozitten elde edilen kayma katılığı sağlanır. Kayma gerilmesi ve kayma modülü, matriks için mukavemetten daha önemli bir unsurdur. Matrikslerin çoğu sıvı halde kullanıldığı için viskozite önemlidir. Erime noktası, kür zamanı, sıcaklık gibi fiziksel özellikler de matrikslerin diğer önemli noktalarıdır (Ulçay 1989).

Matriks malzemeler temelde iki ana grupta toplanırlar;

- 1- Polimer matriksler
- 2- Metalik matriksler

Kullanımları az olmasına rağmen çok yüksek sıcaklık matriksleri, 3. bir grup olarak eklenebilirler (Aran 1990).

2.3. Bağ Yapma Davranışı

Kompozit yapıda bağ oluşumu dendiğinde ortaya arabirim kavramı çıkmaktadır. Arabirim, kompozitin özelliklerini oluşturan matriks ve takviye elemanından sonraki üçüncü önemli unsurdur. Arabirimin sahip olduğu bağ kuvveti değeri, kompozitin davranış karakterlerini belirler. Arabirimdeki bağın ya da yapışmanın yüksek olması, kompozitin mukavim ancak katı, zayıf olması kompozitin mukavemet ve katılık yönünden zayıf olduğunu gösterir. Bu bağlanma çekme-sıyırılma testinde kendini kopma ya da sıyırılma şeklinde gösterir. Arabirimde fiziksel kimyasal ve mekaniksel bağların ve takviye elemanının geometrisinin önemi vardır. Arabirimdeki yapışma;

- Yüzeylerin şekillerine,
- Arabirimi meydana getiren malzemelerin yapılarına,
- Temas basınçlarına,
- Yüzeylerde kalan elementlere,
- Yüzeylerdeki fonksiyonel gruplara,
- Kalmış gerilimlere ve
- Çalışma sıcaklığına bağıdır.

Reçine maddesi, takviye elemanını çok iyi sarabilmeli ve ıslatabilmelidir. Islanma iyi olmazsa, zayıf bir arabirim meydana gelir. Islatılabilirlik gerek şarttır ancak, iyi bir arabirim için yeter şart değildir. Reçinenin ani dökülmesi, takviye elemanının yüzeyinde hava kabarcıkları oluşmasına, zayıf ara bağlara ve zamanla çatlakların oluşumuna neden olur.

Arabirimdeki bağ normal koşullarda yeterli sağlamlıkta oluşmuyorsa, bir takım yöntemler kullanılır. Bunlara birkaç örnek vermek gerekirse;

- Takviye elemanın yüzeyini pürüzlendirerek, sürtünmeyle mekanik bağ arttırılabilir,
- Takviye elemanın yüzeyindeki düşük yüzey enerjisi veren maddeler temizlenebilir,
- Bağ yapıcı özelliği olan ilave maddeler kullanılabilir,
- Kimyasal buhar kullanılarak bağ yapma ve kuvvetli bağ oluşturma yöntemi denenebilir,
- Fiziksel yollar kullanılabilir ve
- Matriks modifiye edilebilir.

Arabirimi kuvvetlendirmekte kullanılan en geçerli yöntem birleştirme maddeleri kullanmaktır. Kimyasal ajan olarak adlandırılan bu maddeler matriks ve takviye elemanına uygun olarak seçilmelidir. Mekanik bağ oluşumu yeterli değildir, çok çabuk ayrılma ve kopmalar meydana gelir. Bu ara malzeme bağ+çekme+takviye elemanın sürtünüp hasar görmesini önlemek gibi üç görevi yerine getirmesi gerekir.

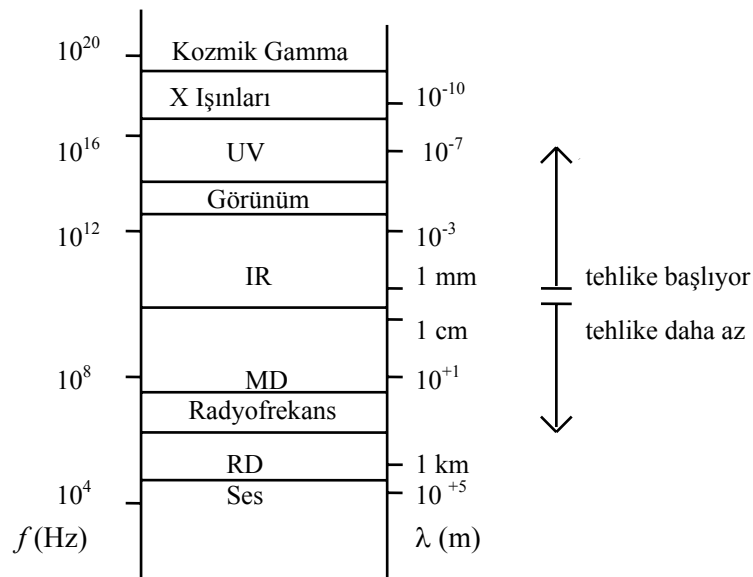
2.4. Kür Teknikleri

Kür, yani özellikleri geliştirme tekniği, öncelikle bu işleme tabi tutulacak malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerine göre farklılıklar gösterir. Kür tekniğinde belli bir süre içinde verilen ısıyla çalışılır. Amaca ulaşmak, en yüksek üretim ve verimi sağlamak için uygun kür tekniğiyle çalışılmalıdır. Termal kür tekniği en eski tekniktir. Hala kullanılmakla beraber son yıllarda gelişme gösteren MD ve RF, kür teknikleri içinde hızla yerlerinin almaktadırlar. Çünkü bu sistemlerde hızlı kür zamanı, yüksek verim ve üretim oranları, yüksek homojen ısıtma imkanı vardır. Yüksek frekans sistemleri denen bu sistemlerdeki en büyük avantaj zaman ve enerji tasarrufudur.

2.5. Yüksek Frekans Sistemleri

MD ve RF, çok çabuk değişen elektrik alandaki hareketlerin sonucu oluşan yüksek frekans teknikleridir. Telekomünikasyon ve deteksiyon amaçlı kullanımlar dışında, endüstriyel alana da yönelmeler nedeni ile bilimsel, teknik ve endüstriyel seviyede yoğun araştırmalar yapılmaktadır. MD ve RF'in endüstriyel uygulamadaki amacı, daha az enerji harcaması, alışlagelmiş ve alışılmışın üstünde kaliteli mamul elde etmektir. Sadece mamul ısındığı için enerji kayıpları daha azdır. MD ve RF, hızlı, homojen, deformasyon ve malzeme içi tepkileri önleyen sistemlerdir.

MD ve RF, prensip olarak aynı uygulamaların farklı sistemlerdir. Kullanılan frekanslar MD için 300 - 30,000 MHz, RF için 1- 300 MHz'dir. (Hz, saniyede \pm olarak değişen, elektrik alanı sayısıdır). Kullanılan standart değerler ise; MD için mutfaklarda 2,450 MHz, endüstriyel uygulamalarda 890 MHz; RF için 13.7 - 27.1 - 40.0 MHz en çok kullanılan değerlerdir. Kullanılan ışının dalga boyu küçüldükçe, nüfuz artışı ve hızı arttığı için tehlike söz konusudur. Bu yüzden özellikle tıbbi uygulamalarda çok dikkatli ve kontrollü çalışılmaktadır (Donmaz ve Miles 1988).



Şekil 2:
Elektromagnetik Spektrum (Donmaz ve Miles 1988)

MD güç üretim cihazlarına verilen genel isim, Magnetron ya da Klistron; RF’da ise Triodvalf’dir. MD’da güç çıkışı 2.5 - 5.0 kW’tır. Magnetronların (ya da klistronların) pratik kullanımları zor, maliyetleri fazla ve yapıları daha komplikedir. Yüksek frekans sistemlerinde materyal tarafından absorplanan güç şu şekilde ifade edilebilir:

$$P=2\pi f\epsilon''\epsilon_0 E^2$$

Burada P: Materyalin absorbladığı güç (W/m)
 f: Frekans (f)
 ϵ'' : Materyalin kayıp faktörü (farad/m)
 ϵ_0 : Boşluğun dielektrik sabiti ($8,85 \times 10^{-12}$ farad/m)
 E: Elektrik alan değişimi (volt/m)

Sabit bir P için MD’da gerekli E, RF’da gerekli olan E’den daha düşüktür. Çünkü frekans daha yüksektir. E’nin yüksek olması, elektrik alanı boşalmasına ve materyal tarafından tam olarak absorplanamayacağı için çevreye yayılmasına neden olur. Bu da malzemeye, güç kaynağına hatta cihazı kullanan kişiye zarar verebilir. Bu nedenlerden dolayı özellikle tekstil, kauçuk, seramik, gıda, vb. alanlarda MD, RF’dan daha çok tercih edilmektedir. MD’nın yer ihtiyacı RF’dan daha az fakat verimi düşüktür. Kullanılan elektrik enerjisinin ancak %40’ı ısıya dönüşebilmektedir (Donmaz 1992).

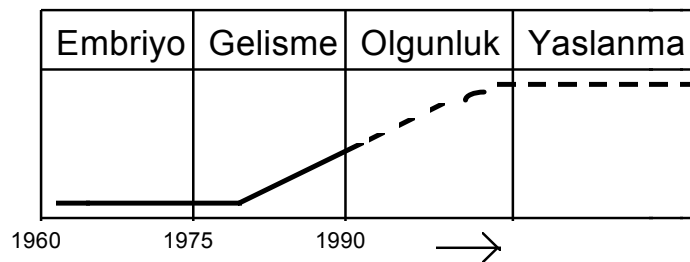
MD ve RF’a ısıtma işinde çok sık kullanıldıkları için dielektrik de denilmektedir. Dielektrik ısıtma, yalıtkan materyallerin içinde büyük güç yoğunluğu yaratılarak sağlanır. Bu şekilde hızlı, homojen, doğrudan, seçici ve ataletsiz bir ısıtma sağlanır. Ancak dielektrik ısıtma klasik ısıtma sistemleriyle birleştirilerek; üretimin durumu, mamulün kalite ve fiyatı, işlem süresi, malzeme stoku, verim artışı gibi noktalar da göz önüne alınarak yapılırsa daha gerçekçi ve mantıklı hareket edilmiş olur. Özellikle malzeme su oranı belli bir değer altına düşüp klasik sistemler işe yaramadığında dielektrik ısıtmanın önemi daha çok ortaya çıkar.

MD ve RF sistemleri, ısıtma, boya fiksajı, polimerizasyon ve kompozit yapı üretimlerinde kullanılmaktadır. Her iki sistemde de araştırmalar artmakta ve buna bağlı olarak hangi sistemin nerede kullanılacağı daha da netleşmektedir. Böylece kullanım alanları yavaş yavaş ayrılmaktadır. Her iki sisteme de kullanım alanları ve güçleri konusunda bir sınırlama getirilmemektedir. Zira ilerleyen zaman ve yapılan çalışmalar yeni uygulama alanlarını ortaya çıkarmaktadır.

2.5.1. Radyo Frekans Teknolojisi

Radyasyonla ilgili ilk çalışmalar radyasyonun polimerlere, monomerlere, bakterilere, enzimlere, kimyasallara ve suya etkisi olarak hızlı bir şekilde yapılmıştır. Burada önemli olan nokta, polimerlerin çapraz bağlanmalarıdır. Çapraz bağlanma işlemi, radyasyon çalışmalarındaki ana noktalardan biridir. Yüzeysel kür işlemi, çözücülerin eliminasyonu, magnetik disklerin kaplanması da radyasyon tekniği kullanılmaktadır. Tıbbi ürünlerin ve ekipmanların sterilizasyonu, besin ve gıda sanayi, gaz kullanım alanları, kitap ve filmlerin korunması işlemlerinde de oldukça etkin ve kuvvetli olan bir tekniktir.

Radyasyon teknolojisinde kullanılan cihaz ve malzemelerde önemli gelişmeler sonucu kullanım alanları da artmıştır. Yapıştırma ve kaplama, radyasyonla iyileştirilebilen materyallere uygulanabilen, son yıllarda oldukça gelişme göstermiş bir alandır. Başarılı tekniklerle, örneğin; gevşek yüzeylerde, aşınma dayanımı olan kaplamalarda ve elastomerik kaplamalarda uygulanarak geliştirilmiştir (Thalacker 1990). Şekil 3’de radyasyon işlemlerinin 1960’lardan gelen genel bir yaşam çevrimi görülmektedir;



Şekil 3:
 Radyasyon İşlemlerinin Genel Yaşam Çevrimi (Thalacker 1990)

2.5.1.1. Radyo Frekans Teknolojisinin Kullanım Alanları

Radyo frekans teknolojisi ile MD teknolojisinin kullanım alanları birbirinden çok farklı değildir. Sahip oldukları dalga boylarının uygun olduğu işlemlerde kullanılırlar. Daha çok hassasiyet isteyen işler için MD uygun iken RF daha basit işlerde kullanılır. RF'lar kullanımı daha kolay olan cihazlardır. Özellikle ısıtma, kurutma, reçinelerin polimerizasyonu, yapıştırma, kaplama, vb. işlerde kullanılır. MD'ya göre tehlikesi daha az bir teknolojidir.

2.5.1.1.1. Kurutma

Radyasyon ve mikrodalga teknolojileri, yüksek frekanslı sistem olarak adlandırılırlar. Birbirine yakın ya da birbirinden uzak pek çok kullanım alanları vardır. Kurutma ise ikisi için de ortak bir uygulamadır. Farklılıkları kullanılan frekanslar ve makina ekipmanlarıdır. Mikrodalgada olduğu gibi materyalin dielektrik sabiti, penetrasyon derinliği, uygulayıcıların yapısı ve kullanılacaksa klasik sistemlerin uygunluğu önemlidir. Amaç yalıtkan maddelerin içinde büyük güç yoğunluğu yaratarak hızlı ve homojen kurutmayı sağlamaktır. Ayrıca doğrudan seçici ve ataletsiz ısıtmanın gerekli olduğu yerlerde kullanılır (Oktay 1989).

2.5.1.1.2. Polimerlerin Kür İşlemleri

Polimerlerin radyasyon karşısındaki hassas davranışın nedeni uzun zincir yapısıdır. Yüksek moleküler ağırlıkları nedeniyle, radyasyon karbon atomlarını etkilemekte ve parçalamaktadır. Radyasyonun ilk etkisi kimyasal bağları bir düzende tutan elektronları uyarır. Eğer uyarılmış bağın hayat süresi, materyal içindeki termal titreşimden daha uzunsa, bu durumda ana zincirde ya da yan zincirlerde kopmalar başlar. Şayet bu kırık bağlar tekrar bir araya gelirse materyal etkisiz kalır. Bununla beraber bağ tek başına bozulmadan önceki haline gelmez, diğer bağlarla birleşir. Bu olaylar sonunda materyal ya akışkan ya da kırılğan hale gelir. Diğer bir önemli olay da gaz çıkışı olmasıdır. Ortaya çıkan bu gazlar çok kolay olarak ortamdaki oksijenle reaksiyona girerek bir indirgeme reaksiyonuna yol açarlar.

Ticari polimerler değişik maddelerin ilavesiyle, daha karmaşık hale getirilip işlem gücü yüksek, maliyetleri düşük yeni polimerler olarak elde edilirler. Ancak bu durum yanıltıcı olabilir. Dikkat edilmesi gereken bir nokta da kullanılan sıcaklık ve radyasyonun dozudur. Sıcaklık ve doz polimerin davranışını belirleyen iki önemli unsurdur. Genellikle radyasyon altında sıcaklık yükseldiğinde mukavemet ve esneklik düşmektedir. Açıkça görülen şudur ki radyasyon uygulamalarına kesin bir çözüm getirilememiştir. Polimerler içinde meydana gelen radyasyon kimyası reaksiyonlarının daha iyi anlaşılması için, yapılmış araştırmaların kabul edilebilir ve kullanılabilir olanlarından yaklaşımla hareket edilmelidir. Bir polimer için elde edilen veriler diğeri için baz oluşturamaz. Ancak bir yaklaşım olabilir (Phillips 1988).

2.5.1.1.3. Epoksi Reçinenin Radyasyonla İyileştirilmesi

Epoksi reçinelerdeki nem düzeyi, genellikle, kimyasal olarak hızlandırılmış polimerizasyon reaksiyonuna engel olmaz. Aslında küçük miktarda nem bulunması reaksiyona pozitif yönde etki eder. Radyasyon işlemi ise çapraz bağları oluşturarak, iyileştirilmiş epoksi reçinelerden yapılmış malzemelerin mukavemetini arttırmak için kullanılır. Radyasyonla iyileştirme, termal ve katalitik iyileştirme metotları önemli avantajlar sağlar. Bu da yüksek polimerizasyon derecesine, sıcaklığa ve minimum toksit düzeyine sahip emisyon derecesine bağlıdır (Dickson ve Singh 1988).

2.5.2. Mikrodalga Teknolojisi

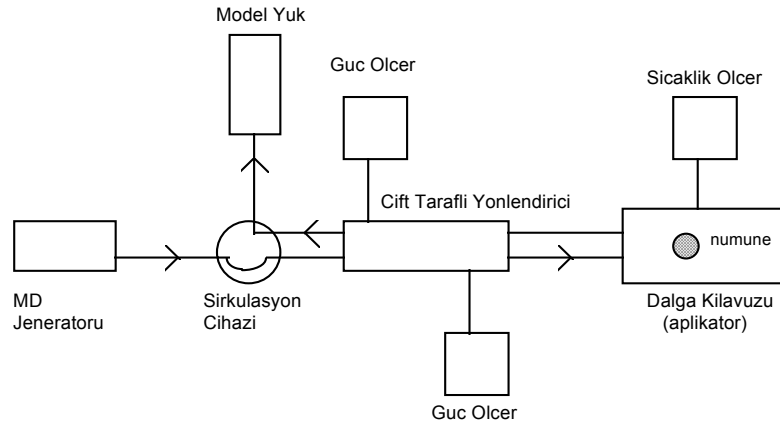
Mikrodalga, dalga uzunluğu 1mm-1000 mm arasında olan bir çeşit elektromagnetik radyasyondur. Pozitif ve negatif kutuplara sahip polar moleküllü yapılar, alternatif yüksek frekans elektrik alanı içinde şiddetle titreşirler. Böylece moleküler hareketin ve çekimin direncinin üstesinden gelirler. Sürtünmenin yol açtığı ısı nedeniyle de materyalin sıcaklığı yükselir. Farklı materyaller için mikrodalga emişi, dolayısıyla mikrodalganın etkileri farklıdır. Örneğin; suyun dielektrik sabiti ϵ ve kayıp açısı $\text{tg}\delta$ diğer dielektriklerden yüksektir. Bu nedenle su diğer materyallerden daha kuvvetli ve mükemmel olarak mikrodalgaları emer ve hızla buharlaşır. Nem iyi yayılmasa bile mikrodalga belli bir uzaklıkta materyale nüfuz eder. Çok nem, çok mikrodalga absorpsiyonudur. Yani mikrodalga tekniği hızlı, homojen ve yüksek enerji yeterliliği olan bir kurutma tekniğidir. Gıda, tütün, kağıt, ilaç, tekstil, kimya, seramik vb. pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır (Xuequan ve ark. 1987).

Son yıllarda gelişme gösteren bir alan da Lif Takviyeli Kompozit yapılarıdır. Kompozitlerin kür işleminde ve termoset polimerlerin kür işleminde mikrodalga kullanımı önemli bir alan teşkil etmektedir. İç ısınmanın doğal yapısından dolayı mikrodalga enerji, termosetlerde ve kompozitlerde daha hızlı ve uniform kür imkanı ve önemli fiziksel-mekaniksel özellikler sağlar.

Mikrodalgalar genellikle, verimleri mikrowattan megawata kadar olan, sürekli ya da kesikli dalga salınımları yapan, magnetron ve klistron gibi aletler tarafından üretilir. Deneysel çalışmalarda mikrodalga devreler oluşturulur.

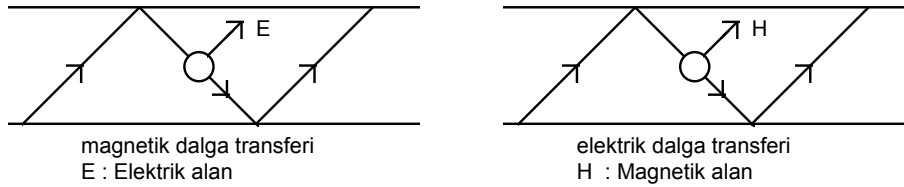
Materyaller, devrenin aplikatör olarak adlandırıldığı bölümde elektromagnetik ışığa maruz kalırlar. Aplikatör, bir boşluklu dalga kılavuzu, silindir ya da dikdörtgen bir boşluk yankılatıcısı olabilir. İşlem enerjisinin tamamının materyal tarafından emilmesine kadar sürer.

Elektrik alanının materyallere iletimi sürekli ya da kesikli dalgalar halinde olabilir. Üretim sırasında tek bir değerle çalışılabiliriyorsa, sistem sürekli çalışıyor demektir. Ancak verilecek enerji değerleri değişiyorsa sistem *pulse* halinde yani kesikli çalışıyor demektir.



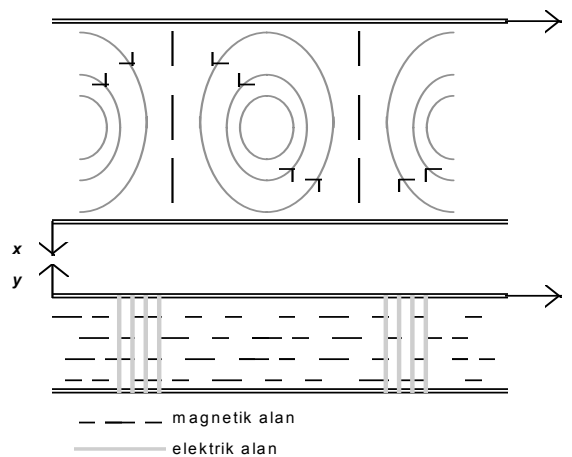
Şekil 4:
Mikrodalga Devrenin Şematik Gösterimi (Mijovic ve Wijaya 1990)

Bir boşluklu dalga kılavuzunda, mikrodalganın yayılmasının iki tipi vardır; Elektrik Transferi(TE) ve Magnetik Transfer(TM).



Şekil 5:
TE ve TM Dalgalarının Alan Vektörlerinin Yönlenmesi (Mijovic ve Wijaya 1990)

Magnetik alan ve elektrik alanındaki teorik analizler uygun sınır koşulları kullanılarak, bu işin temeli olan Maxwell eşitliği ile çözülebilir. Şekil 6'da dikdörtgen biçimli bir dalga kılavuzundaki elektrik alan yayılımı görülmektedir;



Şekil 6:
Dikdörtgen Biçimli Dalga Kılavuzundaki Elektrik Alan Yayılımı (Mijovic ve Wijaya 1990)

Yüksek dielektrik kayıp değerlerine sahip materyaller, su ve alkol gibi, mikrodalga radyasyonla kolaylıkla ısınırlar. Düşük dielektrik kayıp değerlerine sahip materyaller, polistiren ve politetra floretoilen gibi, mikrodalgaları geçirirler. Örneğin; ticari bir mikrodalga fırında polistiren bir kap ısınmaz ama içindeki su ısınır.

Bir elektrik alanı uygulamasında, dielektrik materyallerin polarizasyonunda pek çok mekanizma vardır. Elektronlarla atomik çekirdekler yer değiştğinde doğan indüklenmiş momente “Elektronik Polarizasyon” denir. Bu tip polarizasyon çok kısa yumuşama zamanına sahiptir, elektromagnetik spektrumda görülebilir dalga ya da ultra-violet frekanstadır. Elektronik polarizasyonda çok kısa bir dielektrik kaybı vardır. Dielektrik kaybındaki bu miktar toplam ısınmaya çok az katkı sağlar. Moleküllerdeki elektron dağılımı, karşıt yüklü iki iyon hazır bulunduğu halde simetrik değildir. Dış alan uygulamalarında bu iyonların yörüngelerinden sapmalarıyla oluşan indüklenmiş dipol momente “Atomik Polarizasyon” denir. Spekttrumda infrared bölgesindedir. Elektronik polarizasyona benzer. Atomik polarizasyonun dielektrik kaybı az dolayısıyla toplam ısınmaya katılımı da azdır.

MD ısınmada eksotermik reaksiyonlar sonucu numunede aşırı ısılar elde edilir. Ancak bunlar mikrodalga gücün aç-kapa kontrolüyle büyük oranda azaltılabilmektedir. Üretimdeki ve yüksek enerji verimindeki artış nedeniyle ısınma kabının dışında da mikrodalgaların numuneye etkisi vardır.

Enerji materyal tarafından emilir ve sıcaklık olarak atılır. Elektrik alan enerjisi materyali geçtiğinde enerjide azalma meydana gelir. Bu kalın materyallerin prosesinde çok önemlidir ve numunenin yüzeyinden içine olan uzaklığın bir fonksiyonu olarak bilinmektedir. Bu uzaklığa penetrasyon derinliği (d) denir. d aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$d = \frac{C}{2\pi f \epsilon'_R \tan g\delta}$$

Burada C: Işık hızı
f: Frekans
 ϵ'_R : Materyalin dielektrik sabiti
tang δ : Kayıp faktörünü simgelemektedir.

MD tekniği ısınma için kullanıldığında, en büyük etkiyi kurutmada göstermiştir. Mikrodalga için kullanıldığı alanlar, tekstil ipliklerinin kurutulması, kereste üretimi, kontrplak kurutulması, kontrplak levhaların yapıştırılması vb. sayılabilir (Mijovic ve Wijaya 1990).

Mikrodalgaların, seramik, polimer, kompozit materyaller gibi elektrik yalıtıncılığı bulunan maddelerde önemli mesafelere kadar nüfuz edebileceği söylenmiştir. Bu nüfuz olayı, yani penetrasyon derinliği, materyalin dielektrik ve magnetik özellikleri, mikrodalga frekans değeri gibi pek çok faktöre bağlı olarak değişir. Penetrasyon sırasında emilen bir miktar enerji materyal içinde ısı oluşumuna yol açar. Hacim içindeki ısı yükselişi yüzeyden farklıdır. Bu durum konvensiyonel sistemlerin tersidir. Konvensiyonel sistemde dıştaki ısıtma kaynağından, materyalin dış yüzüne ısı akımı olur, dış yüzey ısınır, sonra soğuk iç bölgelere ısı yayılımı başlar.

Mikrodalga normal ısıtma sistemlerinden farklı bu ısıtma sistemi, pek çok kazanç sağlar. Bu kazançlar; yüzeyde aşırı ısınma olmadan hızlı hacimsel ısınma, özellikle düşük ısı iletkenliği olan materyaller için, ıslak materyallerin kurutulması sırasında yüzey etkilerinin mümkün olduğunca azaltılabilmesi, çatlak vb. arızalar olmadan gözenekli materyallerden gaz ya da bağlayıcıların uzaklaştırılabilmesi, gözenekli ya da boşluklu yapının oluşumunun engellenebilmesi olarak sayılabilir.

Mikrodalga üretim teknolojisinin uygulama ve gelişmesi son on yıldır çok hızlı bir ilerleme göstermiştir. Mikrodalga enerjisinin yararlarını tam olarak kullanabilmek ve üretimi geliştirip arttırabilmek için, materyalin özelliklerini ve reçeteleri ile mikrodalga ekipmanlarının karakteristiklerinin önemli bir kısmının bilinmesi gerekir. Böylece konvensiyonel yöntemlerle elde edilemeyen yeni ürünler elde edilebilir ya da özellikler iyileştirilebilir (Sutton 1993).

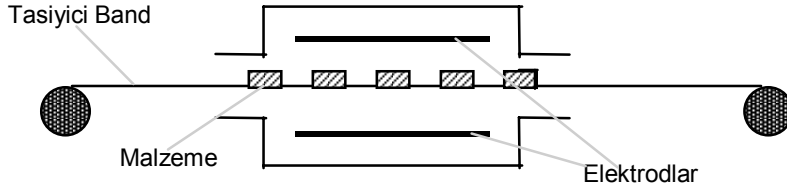
2.5.2.1. Mikrodalga Kullanım Alanları

Mikrodalga RF ile benzer alanlarda kullanım etkinliği vardır. Yalnızca sahip oldukları frekans değerleri doğrultusunda kullanılabilirler. Örneğin RF, çile, elyaf, bobin gibi tekstil materyallerinin; MW

ise kumaş, iplik gibi daha ince ve hassas materyallerin ısıtma ve kurutmasında kullanılır. MW cihazları daha karmaşık yapıya ve pahalı cihazlardır. Daha küçük dalga boylarına sahip oldukları için zaman zaman meydana gelen kaçaklar sağlığa zararlı hale gelebilmektedir. Bu yüzden çok iyi yalıtım sistemlerine gerek vardır. Ancak MW, işlem sürelerindeki azalma, yüksek güç eldesi gibi nedenlerle RF ile başabaş ilerleme göstermektedir.

2.5.2.1.1.Kurutma

Mikrodalganın en çok uygulandığı alanlardan biri tekstil sektörüdür. Yün, pamuk, polyester, akrilik, viskoz gibi farklı tipteki tekstil iplik ve bobinlerinin kurutulması söz konusudur. En çok kullanılan teknik ise düzlem elektrotlar arasından geçirilen sürekli bir bantta yapılan kurutmadır.



Şekil 7:
Düzlem Elektrot Sistemi (Oktay 1989)

Şekil 7’de görülen iki elektrot tabaka arasında bir elektro-magnetik alan oluşturulur ve bu alan materyalde ısı oluşumuna neden olur (Oktay 1989). Mikrodalgalar materyale çok kısa bir sürede nüfuz edip, tüm hacimde ısınmayı sağladıkları için, mikrodalga ısınmasında migrasyon göz ardı edilebilir (Donmaz ve Miles 1988).

Kurutma işleminin tekstil sektöründeki uygulamalarına birkaç örnek verilebilir;

- *Koliler ve denkler:* İpliklerde mekanik zarar meydana gelmez. Materyal daha iyi bir tuşeye ve görüntüye sahip olur. Kurutma zamanı materyalin su miktarına bağlıdır. Sentetikler söz konusu olduğunda, zaman bazen 10 dakikanın altına inebilir.
- *Tops*
- *Küçük çileler:* Genellikle gevşek bir sahada, polyester veya cam zeminli delikli bir bantta kurutulur. Böylece havanın, buhar çekimine yardımcı olmak, bant boyunca ve çilelerin, bant boyunca ve çilelerin yüzeyleri boyunca alması sağlanır. Bu sistemlerde şişirme daha iyi olduğu için, halı ipliği gibi ürünlerde anti sıkıştırma karakteristiklerinden dolayı, faydası büyüktür.
- *Elyaf ve çileler:* Diğer kurutma tiplerindeki, her renk değişiminden sonraki temizlik işlemleri elimine edilmiştir. Polyester çantalar içinde boyanıp yıkanabilen, çeşitli renklerdeki kaşmir, mohair gibi pahalı materyallerin renk bırakma ihtimali elimine edilmiştir.
- *Çoraplar ve hazır giyim:* Santrifüjden sonra, çorap ve hazır giyim ürünleri çantalar içinde kurutulabilir. Özellikle normal sentetiklerden yapılmış çoraplarda enerji miktarı oldukça düşüktür.
- *Ambalajlı kurutma:* Sarılı aprelenmiş ipler kurutulur.
- *Balya ısıtması:* Balyaların açılıp zedelenmesi önlenerek, balyaların üzerinde ısı gezdirilir ve gevşemeleri sağlanır.
- *Elektronik boya fiksajı:* Süreklilik, kolay kontrol edilebilirlik, işlemin son derece basit ve güvenilir olması tercih sebebidir.

Tekstil materyalleri içinde en kolay kurutulmanı polyester, en zoru ise akriliktir. Çok kesin belirtilmemekle beraber, polyester gayri kutupsaldır. Kurduğunda ısıyı keser. Konveyör bantlarında kullanılmasının sebebi de budur. Bazı akrilikler yüksek derece kutupsaldır ve kurduktan sonra da ısınmaya devam eder, sonunda tutuşur. Bu yüzden buharlaşacak suyu çok iyi hesaplamak gerekir. Santrifüjleme gibi mekanik bir ön su uzaklaştırma olmadan dielektrik kurutma yapılması hiç de ekonomik değildir. Geleneksel kurutma fırınları da bu amaçla kullanılabilir.

Bu kurutma sistemleri doğru kullanıldığında amorti süresinin 2 yıl kadar olduğu söylenmektedir. Elde edilebilecek yararlar da şu şekilde özetlenebilir:

- Sağlıklı nem kontrolü,
- Özellikle geceleri düşük enerji maliyeti,
- Elyafların şişmesi ve daha iyi bir tuşeye sahip olmaları,

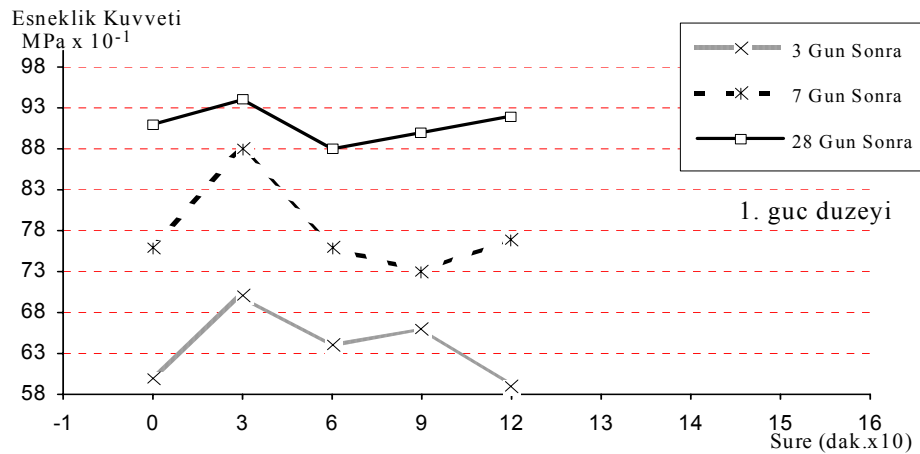
- Ayrı makinada tops, bobin, çile ve diğer formlarda çalışılması,
- Beyazların daha beyaz olması,
- Kurutmadan evvel, yağlandırıcı maddelerin yer değiştirmeye gerek olmadan uygulanabilmesi,
- Ön ısıtma zamanına gerek olmadan süratli işlem yapılabilmesi,
- Buhar kaynatıcılarının zorunlu olmaması,
- Kurutmanın birleşik proseslerle eşzamanlı yapılması,
- İyi çalışma şartları ile sessiz işlem yapılabilmesi,
- Küçük ve büyük aralıklı üretimler için uygun olması,
- Çok fazla bakım gerektirmemesi,
- Kıvamlı yüksek kaliteli mamuller elde edilebilmesi,
- Fazla kurutmanın kaldırılması ve
- Islak noktacıkların uzaklaştırılması (Holland 1986).

2.5.2.1.2. Katılaştırma

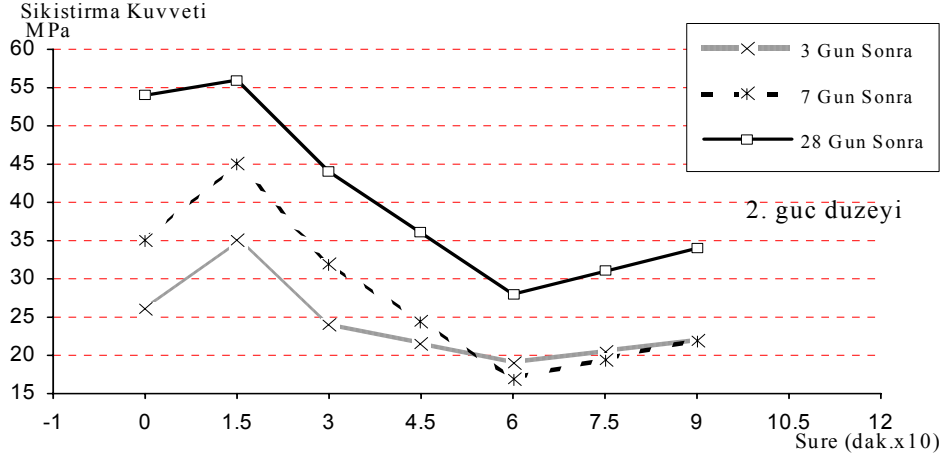
Mikrodalga betonun katılaştırılması sırasında su parçacıklarının uzaklaşmasına sebep olurken plastik çekme meydana gelir. Ama güzel olan bu çekme esnasında gözeneklenmenin çok az olmasıdır. Böylece malzemenin sertliği ve dayanıklılığı artar, yapısında iyileşme meydana gelir. Bu işlemler için gereken sürenin, deneysel çalışmalar sonunda, 15-20 dakika olması gerektiği bulunmuştur. Mikrodalga işlem görmüş numunenin su geçirgenliğinin de denenmemiş numuneye göre daha düşük olduğu deneylerle görülmüştür. Mikroyapının sıkılaştığı da yapılan tespitler arasındadır. Materyalin sıkıştırma direncinin büyüme derecesinin 3-7-28 gün sonra (sırasıyla); % 39-47, % 5-14, % 3-7 olduğu görülmüştür.

Beton üretiminde kür işlemi sırasında zamanda azalma, verimlilik, maddi kazanç ve çalışma alanındaki kazanç mikrodalga'nın tercih sebepleridir. Termal teknikler uzun yıllar kullanılmıştır. Beton parçacıklarını ısıtmak için 90-100°C buhar verilir. Bir kür zamanı 10 saatten fazla olabilir. Sıkıştırma direnci düşüktür. Kalite de düşüktür. 28 gün sonraki ortalama düşüş % 10-15 olarak bulunmuştur. Betonun ısı iletkenliği zayıftır. Bu yüzden ısının düşüşü zaman alır ve yüzeyden iç bölgelere ısı dağılımı iyi değildir. Bütün bu sonuçlar beton üretiminde mikrodalgaya eğilimi doğurmuş ve bundan elde edilen sonuçların uygunluğu bu eğilimin giderek artmasını sağlamıştır.

Beton; çimento, kum ve sudan oluşmaktadır. Bütün bu materyaller az veya çok mikrodalgaları emerler. Suyun uzaklaşmaya ve çimentonun katılaşmaya başlamasıyla plastik çekme meydana gelir. Plastik çekme tersinmez bir olaydır. Böylece kapiler boşlukların azalmasıyla betonun yapısı sıkışır ve buna bağlı olarak kalitesi da artar (Xuequan ve ark. 1986).



Şekil 8:
Esneklik kuvvetinin süre ile değişimi (Xuequan ve ark. 1986)



Şekil 9:
Sıkıştırma kuvvetinin süre ile değişimi (Xuequan ve ark. 1986)

Xuequan ve arkadaşlarının (1986) şekil 8 ve 9'daki grafiklerde de görünen çalışmasının sonucu odur ki mikrodalga kısa kür periyodu ve sağladığı yüksek kalite ile beton üretimine girmeyi başarmıştır. Ancak bütün işlemlerde esas olan aracın, ekipmanların ve koşulların uygun seçilmesinin önemi unutulmamalıdır

2.5.2.1.3. Kompozitlerin Kür İşlemleri

Yüksek performanslı ve kalın kompozit yapılar, polimer kütlesine yeterli enerji transferini gerektirir. Bunun için geleneksel ısı oluşum teknikleri kullanılacaksa, çok yüksek ısı veren araçlara ihtiyaç vardır. Bu gereklilik mikrodalgaya eğilimi doğurmuştur. Mikrodalga işlemi, kompozit oluşumunun çok hızlı ve çok yönlü gelişimi için bir potansiyel sağlar. Enerji kontrolü, kalıcılık ve doğal esneklik sağlama diğer hiç bir teknikte yoktur. Polimerlerin zayıf ısı iletkenliği burada önemli bir unsurdur. Bunu oluşturmak da kür esnasında lif ve matriks arasında uygun bir ara faz oluşturmakla mümkün olur. Kompozitin özellikleri büyük oranda lif ve matriks yapışmasına bağlı olduğu için ara faz bölgesi yapışmanın düzeyi ve tipindeki baş faktördür.

Mikrodalganın birleştirme etkisi, liflerin, polimerlerin ve kompoziti oluşturan diğer materyallerin dielektrik özelliklerinin farklılığıyla değişir ve farklı olaylar olarak ara faz bölgesinde görülebilir. Bu olaylar, yeni bir takım üremeler, bazı kimyasal grupların değişimi, onların polimerik matrikslerle reaksiyonu ve ara faz bölgesindeki kür morfolojisinin değişimleri olabilir.

Polimerik matrikste, takviye lifinin hacminde ve yüzeyde nem bulunur. Hacimdeki nem miktarı az olmasına rağmen ara yüzeydeki %1'lik nem çekirdekleşme veya boşluk büyümesine yol açabilir. Bu boşluklar da kompozitin düzgün yapısını bozar. Grafit ve cam takviyelendirme için nem, lif yüzeyine yerleşmiştir. Polimerik takviyelendirme için ise hacim emişine eklenmiştir. Mikrodalganın etkisiyle su molekülleri buharlaşır. Lif-matriks ara yüzeyindeki serbest enerjiler, su moleküllerinin ara yüzeyde toplanmasına ve çekirdekleşmesine hükmeder.

Takviye lifinin yüzeyi, yüzey kimyasal grupları ya da yüzeye doğru yönelmiş davranışlar içerir. Bu gruplar (ya da davranışlar) mekanik, termik ve çevresel stabilitenin sağlanmasında etkilidir. Mikrodalga radyasyon altında bu gruplar (karboksilik, fenolik, karbonil, lakton ve hidroksil) yüzeyden atılabilir ya da değişik bir yöntemle matriksle tepkimeye girebilirler.

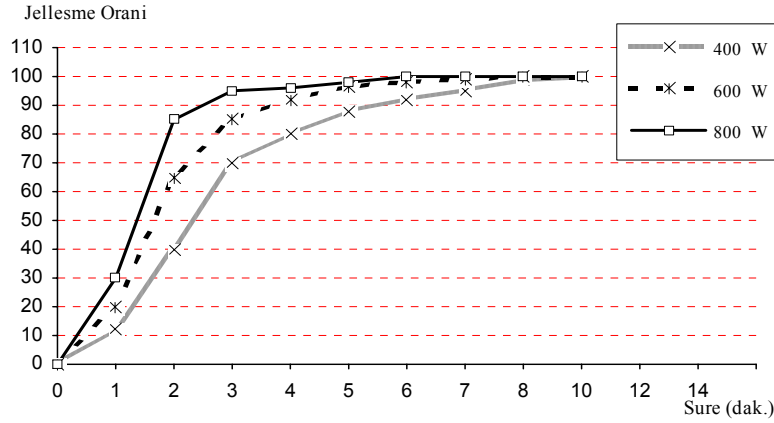
Mikrodalga enerjinin ısı olarak emilişi, uygulamaya girmiş materyalin kayıp faktörü ile doğru orantılıdır; (Agrawal ve Drzal 1989)

$$\langle P \rangle = \frac{1}{2} E_0^2 W \epsilon''$$

Burada $\langle P \rangle$: Güç emiliş oranı
 E_0 : Elektrik alan şiddeti
 W : Radyasyon frekansı
 ϵ'' : Kayıp faktörünü simgelemektedir.

Termoset kompozitler termal proseslerde 10-14 saat gibi bir kür süresini gerektirirken, mikrodalga ile 10-20 dakikalık bir kür zamanı yeterlidir. Buna, cam lifli takviyeli epoksi reçineden oluşan kompozit yapılar en belirgin örnek olarak verilebilir. İşlem iki aşamalı olarak incelenmektedir. Birincisinde çapraz bağlı ağ yapı içinde reçine jel halini alır. Sınırlı bir ortalama moleküler ağırlık, tam sınırsız bir ortalama moleküler ağırlığa geçiş yapar. Arkasından matriks camlaşır. Jelleşme aşaması çok önemlidir. Bu devre başarılı olursa, malzeme yeterince sağlam olarak elde edilebilir.

Bu amaçlı yapılan deneyde, lif ile reçine karıştırıldıktan sonra, önce termal kür yapılmıştır. 10 saat 110°C ve 4 saat 125°C kullanılmıştır. Bunun üzerine 2.45 Ghz; 2-0.2 KW boşluklu mikrodalga cihazı kullanılmıştır. Kullanılan kompozit katmanlıdır. Şekil 10'de üç farklı güç düzeyindeki jelleşme oranları görülmektedir:

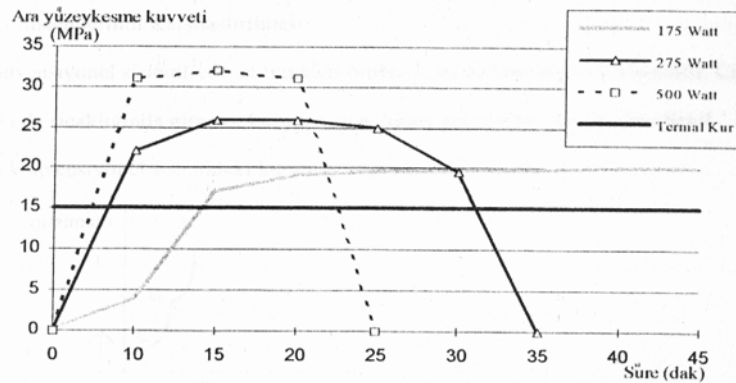


Şekil 10:
Farklı güç düzeyinde jelleşme oranları (Boey ve Lee, 1990)

Mijovic ve Wijaya'nın yaptığı araştırmalardan elde edilen bir sonuca göre, kür işleminin ilk safhalarında dielektrik özelliklerin yükseldiği tesbit edilmiştir. Maksimum noktalarda ise değerler düşmektedir. Dielektrik özelliklerdeki bu değişiklikler polimerin ağ yapısında olmaktadır. Düşük sıcaklıkta reçinenin viskozitesi yüksektir ve elektrik alanı içinde dipoller kararlıdır. Sıcaklığın yükselmesiyle viskozite düşer, dipoller özgür hale gelir ve kimyasal reaksiyonlar başlar.

Lif takviyeli kompozitlerin çoğundaki matriksler polar gruplar (imide, epoksi, ürethane, ester, amine gibi) içerir. Yapılan araştırmalar sonunda, dielektrik sabitleri yüksek polar matrikslerin kür işlemi için mikrodalga ısıtma önerilmektedir. Cam lifli kompozitler için mikrodalga ısıtmanın son derece etkin bir teknik olduğu ancak karbon lifli kompozitlerin çok katlı direkt bileşikler için etkin olmadığı görülmüştür. Katlı bileşiklerde yön önemlidir. Tek yönlü karbon lifli kompozitlerde kür etkileri polarizasyon açısına bağlıdır (Mijovic ve Wijaya 1990).

Mikrodalga çalışmalarındaki bir farklılık da kesikli ve sürekli proseslerde görülmektedir. Pulse periyotlarına bağlı olarak meydana gelen reaksiyonlar farklılıklar göstermektedir. Polimerlerin ve kompozitlerin ağ yapıları, fiziksel ve kimyasal özellikleri bilindiği takdirde, mikrodalga prosesleri, zaman, verimlilik, üretim ve homojen ısıtma için son derece avantajlıdır.



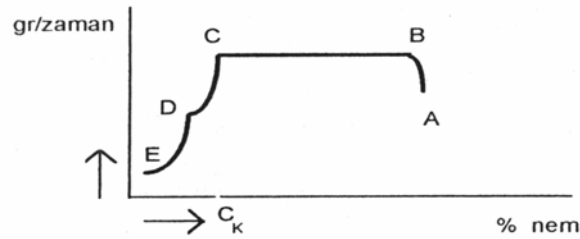
Şekil 11:
Termoset kompozitlerde farklı güç düzeyindeki arabirim mukavemetleri

Kür zamanındaki kısalma ve kür derecesindeki tutarlılıklar mikrodalgayı, termoset kompozitler için de bir avantaj haline getirmiştir. Şekil 11’de termoset kompozitlerde, farklı güç düzeylerindeki, araba mukavemetleri görülmektedir;

Şekil 11’de görüldüğü gibi en düşük güç düzeyi 175 W için yaklaşık 20 MPa, en yüksek güç düzeyi 500W için yaklaşık 31 MPa’dır. Bu gücün üstünde reçinede renk değişimleri olduğu görülmüştür. Bu göstermektedir ki bu güç düzeyi ve radyasyon zamanı, ısınma ve sıcaklık değerleri materyal için yeter değerlerdir. Bu değerlerin üstünde kayıp faktörünün hızla artışıyla yüksek ekzo-termik etkiler ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada termal kür için gereken sürenin de 120°C’de 12 saat olduğu görülmektedir (Boey ve Yue 1991).

2.6. Yüksek Frekanslı Kurutma ile Konvensiyonel Kurutma Sistemlerinin Karşılaştırılması

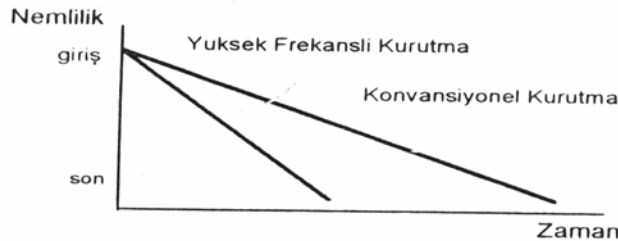
Konvensiyonel sistemlerde ısı transferi birden fazla kademede gerçekleştirilir. Cihaza malzeme oda sıcaklığında girer ve kurutma sıcaklığına geçiş cihaz içinde olur. Şekil 12’de konvensiyonel sistemdeki kurutma süreci görülmektedir:



Şekil 12:
Konvensiyonel sistemdeki kurutma süreci

Kurutma hızı B’ye kadar sürekli artar, buna ilk ısıtma periyodu denir. Kısa bir periyottur. BC’de kurutma hızı sabittir. Nem içeriği sürekli düşer. BC’ye sabit periyot denir. Uzun bir periyottur. Burada yüzeye gelen çözelti miktarıyla yüzeyden uzaklaşan çözelti miktarı eşittir. Bu periyotta kumaşın yüzeyi ıslaktır. C’ye kritik nem içeriği denir.

Buradan itibaren kurutma hızı çok hızlı düşüş gösterir ve kumaşın yüzeyine gelen çözelti buhar + sıvı haldedir. CD’ye ilk düşüş periyodu denir. DE’ye ise ikinci düşüş periyodu denir. Bundan sonra oluşacak ısı yükselişi ve nem düşüşü higroskopik nemin kaybına bile neden olabilir (Donmaz 1992). Şekil 13.’de iki sistemin karşılaştırılması görülmektedir;



Şekil 13:
Yüksek Frekanslı Kurutma Sistemleri ile Konvensiyonel Kurutma Sistemlerinin Karşılaştırılması

Yüksek Frekanslı Kurutma Sistemlerinde(YFKS), kurutma malzemenin her tarafında birden başlar. İşlem hızlı olur ve süreden kazanç sağlanırken üretimdeki artış da kayda değer hale gelir. YFKS’lerinde cihazın hazırlanma nedeniyle bekleme süresinin olmayışı enerji tasarrufu sağlar. YFKS için yer ihtiyacı fazla değildir. Elektrik bağlantıları ve işlem sırasında çıkan buharın atılması için kurulacak baca bağlantısıyla sistem hazırdır. Çevreyi kirletmezler ve sessiz çalışırlar. Kurutma sonunda mamul üzerinde kalan nem oranı % ± 1 gibi bir hassasiyetle kontrol edilebilir. YFKS’nde kirlenme riski olmaksızın farklı renkte mamuller beraberce kurutulabilir. Elektrik kesilmesi gibi durumlarda kurutma işlemi otomatik olarak durur ve mamul zarar görmez.

Bütün bu avantajlarının yanında YFKS'nin dezavantajları da vardır. RF ve MD Sistemleri insan sağlığına zararlıdır. YFKS, günümüzde güvenlik ve sağlık standartlarına uygun yapılsa da zamanla bu standartlar kaybolabilmektedir. KKS'nde bu tehlike yoktur. Akrilik ve poliamid gibi lifler polar yapıda oldukları için kuruduktan sonra ısınmaya devam ederler. Aşırı ısınma da alev almalarına neden olabilir. Mamul içindeki herhangi bir metal parçası ark oluşturarak o bölgede aşırı ısınma ve hatta yanmalara neden olabilir. Optik beyazlatıcı içeren mamuller YFKS içinde sararabilir. Bu yüzden güç yoğunluğu çok iyi ayarlanmalıdır. YFKS'nde ilk yatırım maliyetleri çok yüksektir. Elektrik enerjisinin pahalı olduğu düşünülürse, bu sistemlerin gelişmesindeki gecikme anlaşılır. Ancak zaman geçtikçe YFKS'nin kullanımı artmaktadır. Özellikle tekstil sanayine yönelik teknolojik gelişmelerin artması kullanımını giderek yaygın hale getirmektedir (Kanık 1992).

3. MATERYAL ve METOT

Bu çalışmanın amaçları şunlardır:

- Farklı tip kumaşların reçine maddesi ile bağ yapma davranışlarının incelenmesi
- Bağ yapma davranışının farklı metotlar altındaki hareketinin incelenmesi ve bu metotların karşılaştırılması
- Kumaşların reçineli haldeki mukavemetlerinin ölçülerek, kompozit yapının ve reçinenin mukavemete ne yönde etki yaptığının incelenmesi
- Kumaşların reçinesiz ve sözü edilen farklı metotlardan geçirilmiş hallerinin mukavemetlerinin ölçülerek, bu metotların kumaş mukavemetine ne yönde etki yaptığının incelenmesi

Bu çalışmada polyester reçine ile beş tip kumaşın (pamuk, polyester, nylon, nylon/pamuk, polyester/pamuk) 4 farklı ortamdaki (mikrodalga, radyofrekans, fırın, atmosfer) bağ yapma davranışı ve ortamların oluşan bağın yapısına etkileri incelenmiştir. 25x15 cm² ölçülerinde kesilen kumaşların, 7.5x25 cm²'lik kısımlarına polyester reçine dökülmüş ve aynı büyüklükte diğer kumaş bunun üstüne örtülmüştür. Böylece iki katlı bir kompozit yapı oluşturulmuştur. Bu şekildeki parçalardan, her kumaş tipi, her ortam, her reçine miktarı ve her süre için birer tane olmak üzere toplam 150 parça oluşturulmuştur. Kullanılan reçine miktarları ise 10-15-20 gramdır. Reçineli kumaşlar, oluşan kompozit yapının mukavemet ve enerji değerlerinin ölçülmesi için 4301 INSTRON Mukavemet Ölçüm Makinasında teste tabi tutulmuştur. Her parçadan 5'er tane 2.5x15 cm² boyutlarında kesilen reçineli, toplam 750 parça üzerinde ölçüm yapılmıştır. Böylece elde edilen mukavemet değerleriyle, arabirim yapışmasının, kullanılan unsurlardan ne şekilde etkilendiği görülmüştür.

Kumaşların bir kısmı sıyrılmış bir kısmı ise kopmuştur. Yapılan ölçümlerin sonuçları varyans analizi ile istatistiksel ve grafikler ile açıklanmıştır.

Reçine ile kumaşın bağ yapması ve bağın yapısı, reçine ile kumaş arasında moleküler bir etkileşim olmasına hiç hava boşluğu kalmaksızın birbirlerine her noktada temas edebilmesine, kumaşın kolay ıslanabilirliğine, kumaş yüzeyinde farklı kimyasal grup bulunup bulunmadığına, işlem sırasındaki çalışma sıcaklığına, basınca, vb. göre değişir. Bütün bu etkiler düşünülerek daha sağlıklı bir yapışma için kompozit yapı oluşturulmadan önce kumaşlar etüvde 100°C'de 2 saat kurutulmuşlardır. Böylece arabirim yapışmasına kötü yönde etki edebilecek unsurların olabildiğince ortadan kaldırılması amaçlanmıştır.

Kullanılan ortamlardan mikrodalga ve radyo-frekans endüstriyel kullanımları yeni yeni yaygınlaşan iki önemli sistemdir. Bu çalışmada, bu sistemler de incelenmiş, fırın gibi daha eski bir sistemle ve kendi aralarında karşılaştırmaları yapılmıştır.

Yapılan bir diğer ölçüm de 4 farklı ortamda kalmış reçinesiz kumaşların mukavemetleri üzerine olmuştur. Her kumaş cinsi, her ortam ve her süreden olmak üzere, 2.5x15 cm² lik toplam 275 parça üzerinde, yine INSTRON'da mukavemet ölçümü yapılmıştır. Böylece farklı sürelerde, farklı ortam ısılarının kumaş mukavemeti üzerine etkisi ölçülmüştür. Özellikle RF ve MD'nın günümüzde kurutma işlemlerine hızla girdiği düşünüldüğünde, yapılan deneyin önemi daha çok ortaya çıkmaktadır.

3.1. Materyal

Bu çalışmada, birbirine yakın özelliklerde kumaşlar kullanılmıştır. Kumaşların yanında polyester reçine, katılaştırıcı, hızlandırıcı, gibi kimyasallar, mikrodalga cihazı, radyo-frekans cihazı, normal fırın, elektronik tartı ve pek çok deney aparatı kullanılmıştır.

3.1.1. Kumaşlar

Beş tip kumaş kullanılmıştır. Kumaşların özellikleri şöyledir:

1- Pamuk	sıklık	: 29 çözgü/cm, 25 atkı/cm
	örgü tipi	: bezayağı
	gramaj	: 101 gr/m ²
	çözgü no	: Nm 56
	atkı no	: Nm 52
2- Polyester	sıklık	: 40 çözgü/cm, 18 atkı/cm
	örgü tipi	: bezayağı
	gramaj	: 78 gr/m ²
	çözgü no	: Nm 84
	atkı no	: Nm 53
3- Nylon	sıklık	: 56 çözgü/cm, 32 atkı/cm
	örgü tipi	: bezayağı
	gramaj	: 78 gr/ m ²
	çözgü no	: Nm 95
	atkı no	: Nm 104
4- Nylon/Pamuk	sıklık	: 48 çözgü/cm, 32 atkı/cm
	örgü tipi	: bezayağı
	gramaj	: 112 gr/m ²
	çözgü no	: Nm 85
	atkı no	: Nm 50
5- Polyester/Pamuk	sıklık	: 35 çözgü/cm, 23 atkı/cm
	örgü tipi	: bezayağı
	gramaj	: 134 gr/ m ²
	çözgü no	: Nm 60
	atkı no	: Nm 30

3.1.2. Reçine

Bu çalışmada kullanılan polyester reçine, genel kullanım amaçlı ortoftalik polyester Neoxil CE92N8'dir. Reçine şeffaf sıvı haldedir. İşlemlerin biraz daha seri yapılabilmesi için bir hızlandırıcı ve katılaştırıcı ile birlikte kullanılmıştır. Hızlandırıcı olarak kullanılan malzeme ise kobalttır.

Polyester reçineler, doymuş ve doymamış polyester reçineler olarak ikiye ayrılır. Doymuş polyester reçineler, polietilen teraftalat veya terilen gibi termoplastik özellik gösteren ve enjeksiyon kalıplamada, elyaf üretiminde kullanılan reçinelerdir. Doymamış polyester reçineler, uygun bir katalizör ile çapraz bağ oluşturan termoset özellikli reçinelerdir. Lif takviyeli üretimlerde genellikle doymamış polyester reçineler kullanılır.

Polyester reçinenin avantajları; düşük viskoziteye sahip olması, kür zamanının kısa oluşu, maliyetinin düşük olması, değişik amaçlar için formülasyon kolaylığının oluşu şeklinde sıralanabilir. Dezavantajları ise; hacimsel çekmeye uğraması ve katılaştıktan sonra çekmesidir. Çekme önemli bir problemdir. Bu yüzden düzgün yüzeyler elde edilemez. Özellikle alkali ortamlarda korozyon dayanımı düşüktür. Bünyesine su alarak bozulur.

Tablo II. Polyester Reçinenin Özellikleri

Özellik	Birim	Değer
Yoğunluk	(g/ cm ³)	1.1 – 1.4
Çekme Modülü	(Gpa)	1.2 - 4.0
Kayma Modülü	(Gpa)	1.0 - 2.0
Çekme Dayanımı	(Mpa)	42 – 90
Basma Dayanımı	(Mpa)	140
Poisson Oranı	(%)	0.35 - 0.36
Kopma Uzaması	(°C)	2 – 6
Isıl Genleşme Katsayısı	Cm/cm ³ °C ⁻¹ (x10) ⁻⁶	60 – 70
Kullanım Sıcaklığı	°C	100
Çekme Oranı	%	5 – 12

Kaynak: Aran 1990, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü s. 10

3.1.3. Kimyasallar

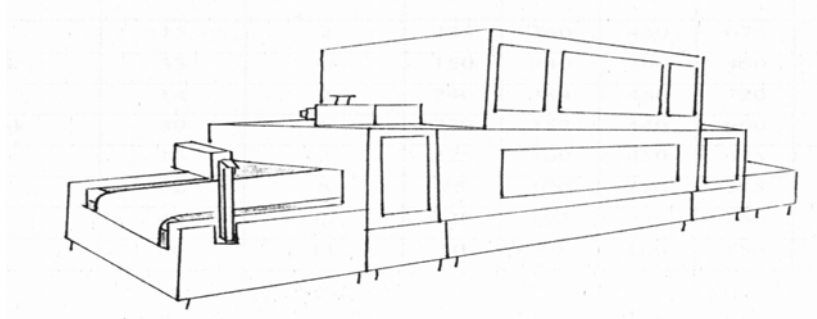
Polyester reçine içine hızlandırıcı ve katılaştırıcı katılmıştır. Bu maddeler derişik olarak kullanılmıştır. Hızlandırıcı 0.125 cc/lit, katılaştırıcı ise 1 cc/lit oranında polyester reçineye katılmıştır. Polyester reçine 10-15-20 gramlık oranlarda kullanılmıştır.

3.1.4. Cihazlar ve Kullanılan Ekipman

Polimerizasyon için kullanılan 3 ana cihaz; MD, RF ve Fırın, mukavemet testi için kullanılan Instron Cihazı bu çalışmanın önemli cihazlarıdır. Bunların yanında yardımcı pek çok cihaz kullanılmıştır.

Reçine, hızlandırıcı, katılaştırıcı karışımları hassas tartılarla elektronik tartıda yapılmıştır. Küçük plastik kaplarda, her reçineli karışım için ayrı tartım yapılmıştır. Daha iyi bir yapışma için kompozit katmanlar 500°C'ye dayanıklı 32 cm çaplı cam levhalar arasında kür edilmiştir. Kompozit katmanların cam levhalara yapışmasını önlemek için yapışmaz kağıtlar kullanılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan mikrodalga cihazı, KRUPS markalı, döner tablalı ve elektronik çalışan bir cihazdır. 5425 M tipindedir. 1650 W'da kullanılmıştır. Saniye cinsinden zaman ayarlıdır. RF ünitesi ise, STRAYFIELD INTERNATIONAL Limited'e aittir. Şekil 14'da makinanın önden görünüşü görülmektedir:



Şekil 14:
Radyofrekans ünitesi

RF'de cihazın taşıyıcı bantının hızı materyal için çok önemlidir. Aşağıda Srayfield Tekstil Fırınına ait taşıyıcı bandın hızına ilişkin bağıntılar verilmiştir:

$$V = \frac{Px1.3}{WxN} \text{ (m/sa)}$$

Burada: V: Bant hızı(m/sa)
W: Her bir numuneden taşınacak su ağırlığı(kg)
N: Bandın 1m'lik uzunluğundaki numune sayısı

$$V = \frac{LxPx1.3}{M} \text{ (m/sa)}$$

Burada: P: Kullanılabilecek güç miktarı(KW)
M: Her kg. yığından uzaklaştırılabilecek suyun ağırlığı
L: Taşıyıcı bandın uzunluğu

RF ile ilgili deneyler COATS Türkiye'de yapılmıştır. Yukarıdaki, RF ile ilgili tüm bilgiler, halen firmada kullanılmakta olan cihaza aittir. Deneyde kullanılan bir diğer kür ortamı normal fırının markası HEREDOT'dur. Fırın saat cinsinden zaman ayarlıdır.

Tablo III: Strayfield Tekstil Kurutucusunun Performans Tablosu

Lif Tipi	RF içindeki % su	RF dışındaki % su	Kurutma Kapasitesi (Kg/sa)					
			25 kW	40 kW	50 kW	75 kW	100 kW	150 kW
Akrilik	15	2	225	360	450	675	900	1350
Yün Akrilik	33	11	150	240	300	450	600	900
Polyester	14	2	240	384	480	720	960	1440
Poly. Pamuk	30	5	220	352	440	660	880	1320
Polyamid	16	3	225	360	450	675	900	1350
Pamuk	52	8	75	120	150	225	300	450
Yün	42	17	120	192	240	360	480	720
Viskoz	80	11	50	80	100	150	200	300

3.2. Metot

Bu çalışmada 3 temel deney yapılmıştır:

- 1- Kompozit malzemenin kür işlemi
- 2- Kür edilmiş kompozit malzemenin mukavemet testi
- 3- Kumaşların tek başına mukavemet testi

Test işlemleri normal koşullarda (21°C ve %65 relatif nem), 4301 Instron Mukavemet Cihazında yapılmıştır. 2.5x15 cm² lik numunelerin, 15 cm'lik kısımlarının 7.5 cm'lik kısmı reçineli 7.5 cm'lik kısmı reçinesizdir. Reçineli kısım tek parça(kompozit halde olduğu için), ancak reçinesiz kısım iki parçadır. Bu parçaların uç kısımlarından 3.75 cm'lik kısımları Instron mukavemet cihazının alt ve üst çenelerine tutturulduğunda arada 7.5 cm çekme mesafesi kalmaktadır. Çekme hızı 20 mm/d'dir. Reçinesiz kumaşlarda ise 2.5x15 cm²lik kumaşların alt ve üst kısmından 3.75 cm'lik kısımlar çenelere tutturulmuş çekme mesafesi yine 7.5 cm'ye getirilmiştir. Ancak burada çekme hızı 50 mm/d'dir. Ölçümler 5 KN'luk çekme yükü altında yapılmıştır

3.2.1. Değerlendirme Metotları

Yapılan deney sonuçları istatistiksel olarak yapılmıştır. Kompozit yapı oluşturulmuş kumaşların ve yalnız kür ortamlarında tutulmuş kumaşların mukavemet testi sonuçları varyans analizi ile değerlendirilmiştir. Elde edilen deney sonuçları grafik haline de getirilerek, sonucun daha somut görülmesi sağlanmıştır.

3.2.1.1. Varyans Analizi

İki tip varyans analizi yapılmaktadır:

1- Yalnız MD, RF ve Fırının söz konusu olduğu yuvalanmış varyans analizi. Burada süre her ortam için farklı olduğundan analiz bu şekilde yapılmaktadır. Çalışmanın modeli ise; *O*: Ortam *R*: Reçine *S*: Süre olmak üzere aşağıdaki şekildedir:

$$Y_{ijkm} = \mu + O_i + R_j + OR_{ij} + S_{k(i)} + \epsilon_{ijkm}$$

2- Atmosfer için ise tek faktörlü varyans analizi yapılmıştır. Çünkü burada zaman söz konusu değildir. Her kumaş için ayrı çalışma yapıldığından tek faktör reçine miktarı olmaktadır. Çalışmanın modeli ise; *R*: Reçine olmak üzere aşağıdaki şekildedir:

$$Y_{ij} = \mu + R_j + \epsilon_{ij}$$

Değerlendirmeler %5 anlamlılık seviyesinde yapılmıştır.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

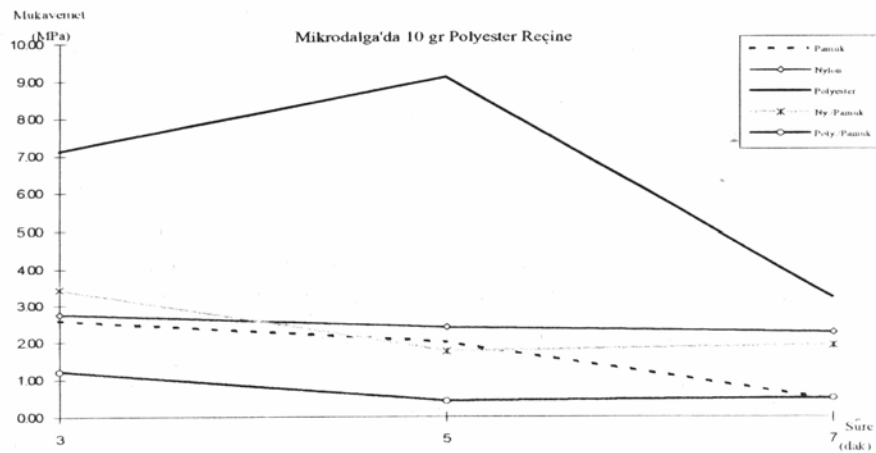
Kompozit malzemenin yapısı, kendini oluşturan matrikse, takviye elemanına ve ikisinin arasındaki arabirime bağlıdır. Kompozit yapıdan istenen özelliklerin elde edilmesi için, bu üç unsurun çok iyi bilinmesi, amaca göre seçilmesi ve uygun şekillerde bir araya getirilmesi gereklidir.

Bu çalışmada matris malzemesi polyester reçine; takviye elemanı da beş farklı kumaştır. Bu şekilde oluşturulan kompozit malzeme üzerinde çekme mukavemet testi yapılmıştır. Ayrıca bu sözü edilen her bir cins kumaş; 3 farklı reçine miktarı ile 4 farklı ortamın 3 farklı sürelerinde uygulanmış ve bu çalışmaların her birinde mukavemet değerleri ölçülerek test sonuçları irdelenmiştir.

İyi bir arabirim oluşturmak için kumaşlar kompozit yapı oluşturmadan hemen önce 2 saat 100°C'lik etüvde kurutulmuştur. Böylece kumaş yüzeyinde kalabilecek ve daha sonra çatlak ve kırıklara neden olabilecek ve dolayısıyla mukavemet oluşumunu olumsuz yönde etkileyecek önemli bir etken ortadan kaldırılmıştır.

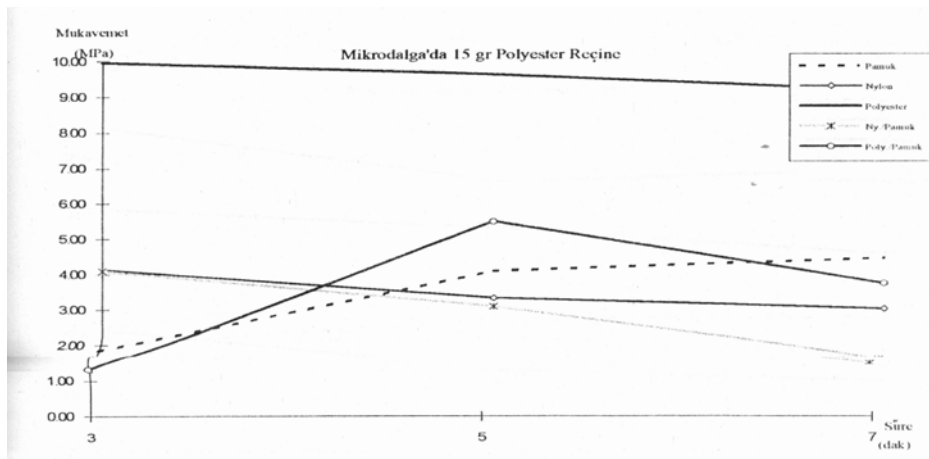
Çalışmada, işlemin yürüyüşünü çabuklaştırmak için bir hızlandırıcı ve bir katılaştırıcı kullanılmıştır. Gerekliyse, istenen kompozit yapıya göre farklı maddeler katılarak kompozit yapı daha komplike, daha amaca yönelik hale getirilebilir.

Kullanılan kumaşlar; pamuk (selülozik esaslı), polyester (sentetik), nylon (sentetik), ny./pamuk (sentetik + selülozik) ve polyester pamuk (sentetik + selülozik)'tur.



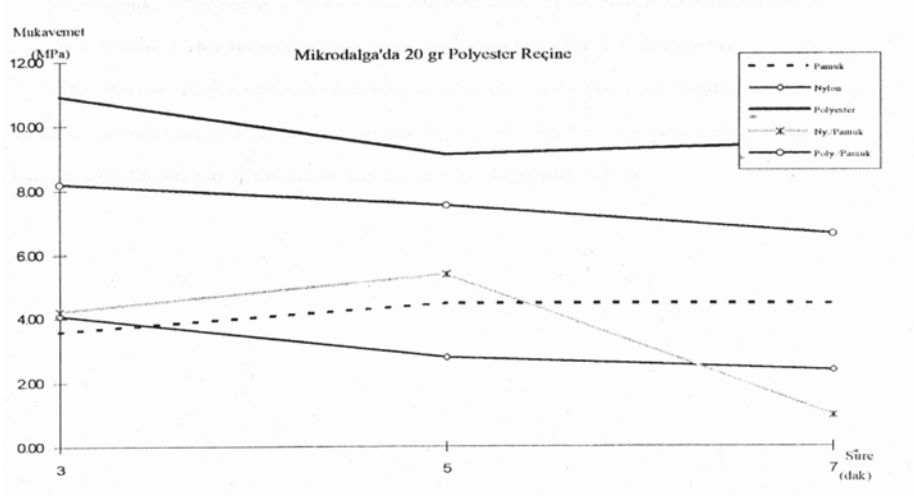
Şekil 15:

Mikrodalgada 10 g polyester reçine ile yapılmış kompozit malzemenin çekme mukavemet değerleri



Şekil 16:

Mikrodalgada 15 g polyester reçine ile yapılmış kompozit malzemenin çekme mukavemet değerleri

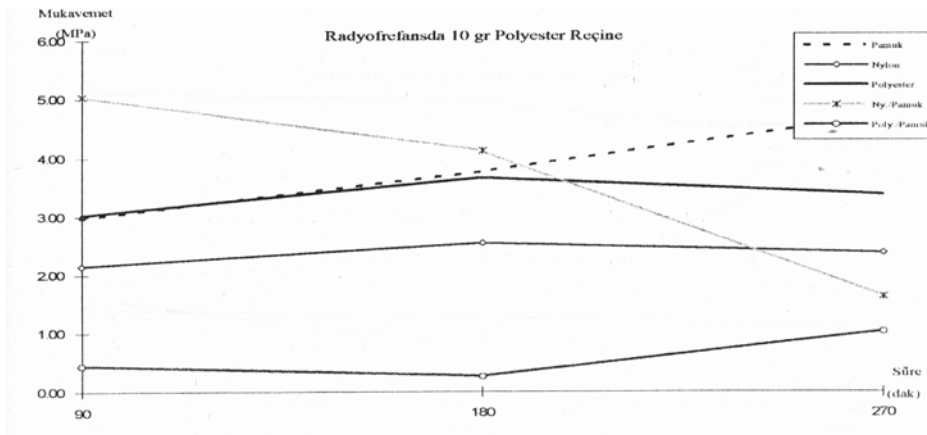


Şekil 17:

Mikrodalgada 20 g polyester reçine ile yapılmış kompozit malzemenin çekme mukavemet değerleri

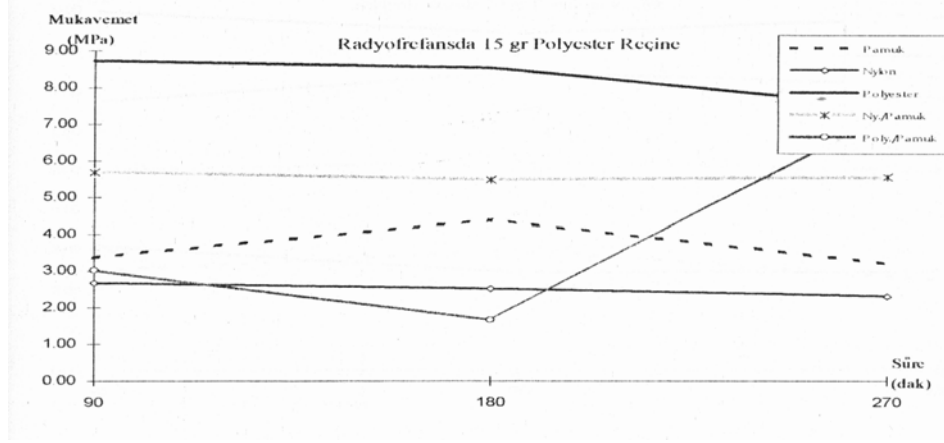
Şekil 15, 16 ve 17'da mikrodalgada 1650 W güç altında; 10, 15, 20 g reçine ile ve 3, 5, 7'şer dakikalık sürelerde kür edilerek oluşturulmuş kompozit yapıların çekme mukavemeti değerleri görülmektedir. Bu çalışmalara göre;

- Pamuk; 10 g reçine ile mukavemeti düşmüş ancak reçine miktarları arttıkça, sırasıyla 15-20 gramda %143-%24'lük mukavemet artışları görülmüştür. Bütün çekme testlerinde, test edilen parçalar kopmuştur.
- Naylon; pek fazla değişiklik göstermemiş, ancak yine de mukavemette bir düşüş görülmüştür. En yüksek değerlere ise 3 d sürelerde ulaşmıştır. Çekme testlerinde ise kompozit katmanlar birbirinden sıyrılmıştır.
- Polyester; elde edilen değerlere bakıldığında en mukavim kumaş olarak görülmektedir. Yalnız 10 g reçine ve 5 d kür süresinde yükselme, 20 g reçine ve 5 d sürede düşme göstermiştir. Ancak kayda değer bir değişiklik görülmemiştir. Tüm testlerde de sıyrılmaya gözlenmiştir.
- Naylon / Pamuk; genelde düşüş göstermiş yalnız 20 g reçine ve 5 d sürede %28'lik bir yükselme göstermiştir. Mukavemet testi sırasında ise numunelerin %60'ında kopma görülmüştür.
- Polyester / Pamuk; mukavemette genel bir düşüş gözlenmiştir. 15g reçine ile maksimum mukavemet değerlerine ulaşmıştır. En yüksek değerlerine 3 d sürelerde ulaşmıştır. Mukavemet testi sırasında ise numunelerin %35'inde kopma görülmüştür.



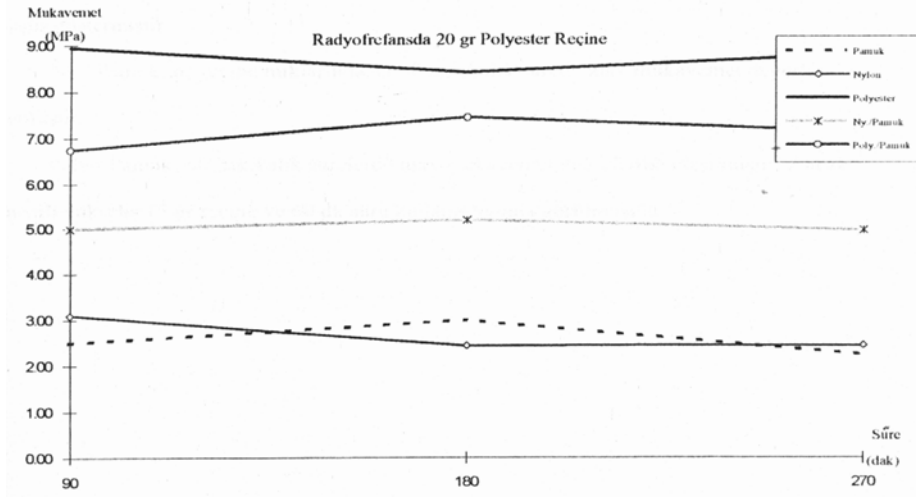
Şekil 18:

RF'da 10 g polyester reçine ile yapılmış kompozit malzemenin çekme mukavemet değerleri



Şekil 19:

RF'da 15 g polyester reçine ile yapılmış kompozit malzemenin çekme mukavemet değerleri

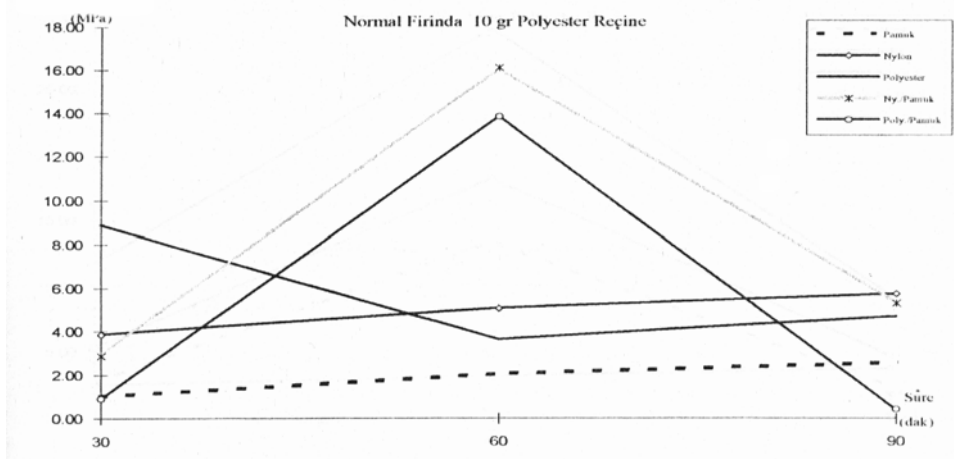


Şekil 20:

RF'da 20 g polyester reçine ile yapılmış kompozit malzemenin çekme mukavemet değerleri

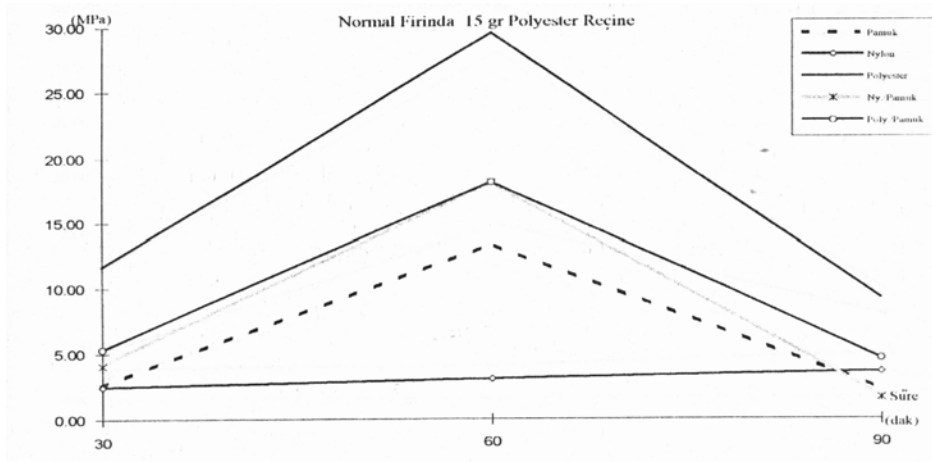
Şekil 18, 19 ve 20'de; RF'da 1.5, 3, 4.5 saatlik sürelerde, 10, 15, 20 g reçine ile kür edilmiş kompozit malzemelerin çekme mukavemeti değerleri görülmektedir. Bu sonuçlara göre;

- Pamuk; 10 g reçineli çalışmada %58'e varan bir yükselme göstermiştir. Genelde yükselme 3 saatlik çalışmada gözlenmiştir.
- Nylon; kayda değer bir etkilenme görülmemiştir. Yalnız 10 g reçinede, 3 saatlik sürede %19'luk bir yükselme dışında ortalama %14'lük bir düşüş görülmüştür.
- Polyester; başlangıç değerleri reçine miktarlarının artışıyla artmış ancak 10 g reçine 3 saatlik süredeki %21'lik artış dışında genel bir artış olmamıştır.
- Nylon / Pamuk; 10 g reçine 1.5 saatlik sürede maksimum düzeydedir. Sonra %68'lik bir düşüş meydana gelmiştir. Diğer iki reçine miktarında ise kayda değer bir değişim yoktur.
- Polyester / Pamuk; 10 g reçine miktarında süreyle beraber bir artış görülmüştür. 15 g reçine miktarında 3 saatten 4.5 saate geçişte %343'lük bir artış varken 20 gramlık çalışmada genelde bir yükselme ancak kayda değer bir değişiklik yoktur.



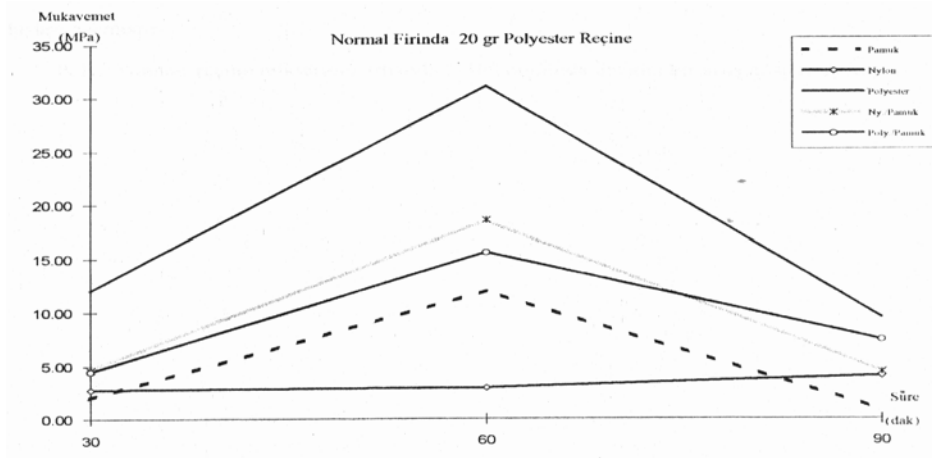
Şekil 21:

Microdalğada 10 g polyester reçine ile yapılmış kompozit malzemenin çekme mukavemet değerleri



Şekil 22:

Microdalğada 10 g polyester reçine ile yapılmış kompozit malzemenin çekme mukavemet değerleri

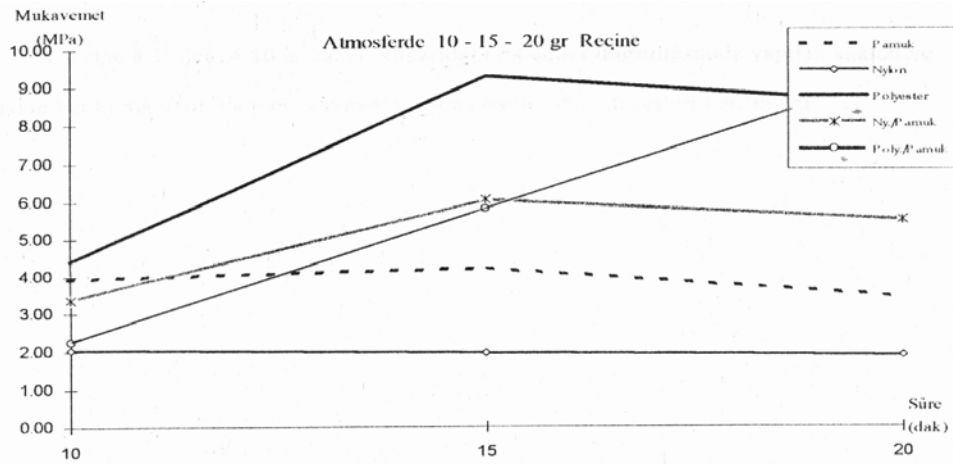


Şekil.23:

Microdalğada 10 g polyester reçine ile yapılmış kompozit malzemenin çekme mukavemet değerleri

Şekil 21, 22 ve 23'de; Normal Fırında 30, 60, 90 dakikalık sürelerde 10, 15, 20 g'lık reçine miktarları ile 100°C'de yapılan kür işlemine ilişkin, kompozit malzemenin mukavemet değerleri görülmektedir. Bu sonuçlara göre;

- Pamuk; 15 ve 20 g reçineli çalışmalarda 60 dakikada önemli çıkışlar göstermiştir. 10 g reçineli çalışmada ise süreyle beraber %60'lık bir yükselme gözlenmiştir.
- Naylon; her üç reçine miktarı için de ortalama %45'lik bir artış gözlenmiştir. Ancak 10 g reçineli çalışmadaki başlangıç değeri en yüksektir.
- Polyester; 10 g reçine dışında diğerlerinde 60 d sürelerde ortalama %60 yükselme görülmüştür. Ancak 10 g reçineli çalışmada 30 d'dan 60 d'ya %60'lık bir düşüş göstermiştir.
- Naylon / Pamuk; üç reçine miktarında da 60 d sürede maksimum mukavemet değerleri vermiştir.
- Polyester / Pamuk; 60 d sürelerde maksimum mukavemet değerlerine ulaşılmıştır. Ancak önemli yükseliş 15 g reçine ve 60 d süre kullanıldığında görülmüştür.



Şekil 24:
Atmosferde 10-15-20 gramlık polyester reçine ile yapılmış kompozit malzemelerin çekme mukavemet değerleri

Şekil 24'da; normal atmosfer koşullarında (21°C ve %65 relatif nem) 10, 15, 20 g reçine ile kompozit malzemenin mukavemet değerleri görülmektedir. Bu sonuçlara göre;

- Pamuk; 15 g reçinede %7'lik bir artış ve sonra %19'luk bir düşüş gözlenmiştir. Genelde gözlenen ise reçine miktarıyla beraber mukavemetin düştüğüdür.
- Naylon; %8 gibi çok küçük bir oranda düşüş vardır. Önemli bir etkileşim yoktur.
- Polyester; reçine miktarı 10 g'dan 15'e çıkarken %110'luk bir artış olmuş, bundan sonra düşüş görülmüştür.
- Naylon / Pamuk; polyestere benzer bir yörünge çizmiş, 15 g %80 artıştan sonra %9 ile düşüşe geçmiştir.
- Polyester / Pamuk; reçine miktarının artışıyla %309 oranında düzgün bir artış göstermiştir.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Beş tip farklı kumaşla oluşturulan kompozit malzemelerin bağ yapma davranışları incelenmiştir. Bu amaçla farklı miktar reçine ve farklı ortamlar ile çalışılmıştır. Seçilen ortamların farklı sürelerinin etkileri gözlenmiştir. Böylece, ortam, süre ve reçine miktarının yarattığı etkiler incelenmiş, grafikler yardımı ile birbirleri arasındaki farklar göz önüne serilmiştir.

Kompozit yapılar oluşturulduktan sonra her farklı grup kendi içinde test edilmiş ve daha sonra bu gruplar karşılaştırılmıştır. Kompozit yapılarda iyi bir bağ oluşumu, iyi bir arabirim yaratmakla mümkündür. Bu çalışmada deneylerin sağlıklı yapılabilmesi için kumaşlar önce etüvde kurutulmuş ve böylece kumaşta kalıp arabirimi bozabilecek en önemli unsurlardan biri olan fazla nem ortadan kaldırılmıştır.

Elde edilen mukavemet test sonuçları istatistikî metotlarla değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonuçlarına göre en yüksek arabirim bağ kuvveti polyester ve naylonda görülmüştür. Bu iki kumaş tüm deneylerde sıyrılmıştır. Polyesterin mukavemeti tüm deneylerde en yüksek çıkmıştır. Bu iki tip kumaş için yüksek frekans sistemleri yani RF ve MD mukavemeti artırıcı yönde etkili olmuştur. Yüksek çekme kuvve-

ti gerektiren işlerde Naylon ve Polyester ile oluşturulan kompozitlerin daha kullanılabilir olduğu söylenebilir.

Pamuk tüm testlerde kopmuştur. Ancak özellikle RF ve MD'da arabirim kuvvetinde artış gözlenmiştir. Reçine miktarının yeterli etkisi olmadığı görülmüştür. İyi bir arabirim, iyi bir takviye elemanı-matriks yapışması demektir. Reçine miktarı kumaşı yeterince ıslatmadığı takdirde kötü bir arabirim olur. Bu durumda reçine miktarı önem kazanmaktadır.

Naylon / Pamuk ve Polyester./ Pamuk kumaşların bir kısmı kopmuş bir kısmı sıyrılmıştır. Test ortamlarının ısıları sabit kalmış, süreler değiştirilmiştir. Özellikle bu iki kumaşta artan süreler aşırı mukavemet düşüşlerine neden olmuştur. Ancak RF'in etkisi biraz daha olumlu yöndedir. Normal atmosfer koşullarındaki kür işlemlerinde ise reçine miktarının Naylon / Pamuk ve Pamuk dışındaki kumaşların mukavemetine olumlu yönde etkisi olduğu görülmüştür.

Yüksek frekans sistemlerinin zamandan sağladığı tasarruf ve sağlıklı işlem son yıllarda tekstil sektöründe ısıtma ve kurutma işlemlerinde de kullanımına olanak sağlamıştır. Bu sistemlerin kullanımının yalnız kumaş mukavemetine etkisini incelemek amacıyla da testler yapılmıştır. Böylece elde edilen sonuçlara göre, aşırı ısıtmaların özellikle test doğal elyafı malzemelerin mukavemetini olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. Deneye konu olan sentetik esaslı malzemeler ise daha az etkilendiği görülmüştür. Buna göre ısıtma ve kurutma işlemlerinde de kumaşın yapısını bozmayacak uygun sıcaklık ve sürelerin seçilmesi gerektiği anlaşılmıştır.

6. KAYNAKLAR

1. Agrawal, R.K. ve L.T. Drzal. 1989. Effects of Microwave Processing on Fiber- Matrix Adhesion in Composites. Department of Chemical Engineering and Composite Materials and Structures Center, c.29, s. 63-79, USA.
2. Aran, A. 1990. Elyaf Takviyeli Karma Malzemeler. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, s.1-50, MK. 575 Ders Notları, Gümüşsuyu İstanbul.
3. Boey, F.Y.C.ve W.L. Lee. 1990. Microwave Radioation Curing of a Thermosetting Composite.Journal of Materials Science Letters 9, s. 1172-1173, Nanyang Technological Institute Singapore 2263.
4. Boey, F.Y.C. ve C.Y. Yue. 1991. Interfacial Strength of a Microwave Cured Epoxy-Glass Composite. Journal of Materials Science Letters 10, s. 1333-1334, Nanyang Technological Institute Singapur 2263.
5. Elyaf Kompozit Malzemeler Grubu. CTP Teknolojisine İlişkin Ön Bilgiler. Cam Elyaf Sanayi A.Ş., s.1-55, İstanbul.
6. Cook, P.M. 1990. Impact and Benefit of Radiation Technology. Radiat. Phys. Chem., c.35, sayı 1-3, s. 7-8, Great Britain.
7. Çiftçi, A. ve M.F. Çiftçi, 1986. Tekstil Terbiye Terimleri Kılavuzu. Sagem, Bursa.
8. Dickson, L.W. ve A. Singh, 1988. Radiation Curing of Epoxies. Radiat. Phys. Chem., c. 31,sayı 4-6, s. 587-593, Great Britain.
9. Donmaz, P. ve L. W.C. Miles, Reaktif Boyaların Mikrodalga Isıtmasıyla Pamuklu Kumaşlar Üzerine Fikse Edilmesi. Manchester Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Üniversitesi (UMITS), s.595-603, İngiltere.
10. Donmaz, P. 1992. U.Ü. Müh. Mim. Fak. Yüksek Lisans Ders Notları, Bursa.
11. Iskander, M.F. 1993. Computer Modeling and Numerical Simulation of Microwave Heating Systems. MRS BULLETIN, s. 30-36, Pittsburgh.
12. Kanık, M. 1995. Yüksek Frekanslı Isıtma Teknolojisi, Tekstil Sanayindeki Uygulamaları ve Bu Alandaki Son Gelişmeler. Tekstil&Teknik, sayı 10, s.64-72, İstanbul.
13. Mijovic, J. ve J. Wijaya. 1990. Review of Cure of Polymers and Compositesby Microwave Energy. Polymer Composites, c.11, sayı 3, s. 184-191, Chemical Engineering Department Polytechnic University Brooklyn New York 11201.
14. Oktay, A. 1989. Yüksek Frekans ve Mikrodalgaların Endüstriyel Uygulamaları. Elektrik Mühendisliği 3. Ulusal Kongresi, s. 394-397, Bursa.
15. Phillips, D.C. 1988. Effects of Radiation on Polymers. Materials Science and Technology, c. 4, s. 85-91
16. Sak, Z. 1985. Dictionary of Technical Terms. SAK İngilizce Öğretim Yayınları İstanbul.
17. Sutton, W.H. (Guest Editor). 1993. Microwave Processing of Material. MRS BULLETIN, s.22-24, Pittsburg.
18. Holland, J.M. 1986. Tekstil Endüstrisinde Yüksek Frekanslı Kurutma. Tekstil&Teknik, sayı 13, s. 41-49, İstanbul.
19. Thalacker, V.P. 1990. Radiation Processing of Coatings and Adhesives-An Overview.Radiat.Phys. Chem.(7th International Meeting on Radiation Processing), c. 35, sayı 1-3, s.18-29,Great Britain.

20. Ulcay, Y. 1989. The Effect of Surface Treatment on the Bonding Properties of Spectra Fibers for Use in Composites Structures. Maryland College Park University, USA.
21. Ulcay, Y. 1991-1992. Tekstilde İstatistiki Metodlar. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Ders Notları, Bursa.
22. Xuequan, W. ve D. Jianbgo. 1987. Microwave Curing Technique in Concrete Manufacture. Cement and Concrete Research, c. 17, sayı 2, s. 205-210, USA.
23. Vokal, A.; P. Kourim; J. Süsmilchova; M. Heidinsfeldova; B. Kopecky. 1986. Comparison of Thermal and Radiation Curing of Silicone Rubber. Radiat. Phys. Chem., c. 28, sayı 5-6, s.497-499, Great Britain.