

KOMPOZİT BORULARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİ VE JEOTERMAL AKIŞKAN ORTAMINDA DAYANIMININ DENEYSEL ANALİZİ

Metin TANOĞLU
Murat TOĞULGA
Gülden GÖKÇEN

ÖZET

Bu çalışmada, jeotermal sıvı taşınımında boru malzemeleri olarak kullanılabilen örgü (woven) E-cam takviyeli polimer kompozitler tüp çevirme tekniği ile değişik polimer matrikslerden üretilmiştir. Matriks malzemelerini poliester, epoksi ve karbon partikül takviyeli epoksi reçineleri içermiştir. Su absorpsiyon deneyleri jeotermal akışkan ortamında cam/poliester kompozitlerin diğer kompozitler ile mukayese edildiğinde en yüksek oranda su absorbe ettiğini göstermiştir. Ayrıca, karbon partikül ilavesi ile epoksi matriksin su absorpsiyon değerlerinin azaldığı bulunmuştur. Karbon partiküllerin epoksi içerisinde su difüzyonunu belli seviyede azaltan bariyer fonksiyonuna sahip olduğu görülmüştür. Mekanik test sonuçları, poliester kompozitlerin kuru ortamda hem aksel ve hem radial yönde yüklemelerde diğer kompozitler ile kıyaslandığında en yüksek mukavemete sahip olduğunu göstermiştir. Ancak, jeotermal ortam altında polister kompozit özelliklerindeki bozunmanın da yüksek olduğu görülmüştür. Bu malzemelerin özelliklerindeki daha fazla seviyede bozunum poliester kompozitlerin daha yüksek oranda su absorpsiyonu ile ilişkilendirilmiştir. Elyaf/matriks arayüzeylerin özelliklerinin su absorpsiyonu nedeni ile etkilenmesi kompozit mekanik özelliklerini etkilemektedir. Kompozit borular için aksel yönde oluşan kırılma modları; fiber mikroçarpılma, elmas şekilli çarpılma ve matrik kırılması olmuştur. Radial yönde uygulanan yük sonunda ise makro kırılmalar yerine mikro kırılmalar (fiber kırılma, fiber/matriks ayrılması ve matriks mikro çatlama) gözlemlenmiştir.

1.GİRİŞ

Jeotermal sıvı kompozisyonunda gözlemlenen bileşenler; Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SiO_2 , HCO_3^- , CO_3^- , SO_4^{2-} and CO_2 [1] jeotermal sistemlerinde kullanılan malzemeler üzerinde oldukça önemli etkiler göstermektedir. Kabuklaşma ve korozyon gibi etkiler özellikle taşıyıcı borularda hasarlara ve sistemde ekonomik kayıplara neden olabilmektedir. Jeotermal uygulamalarda kullanılan geleneksel boru malzemeleri karbon çeliği, paslanmaz çelik, polivinil klorür (PVC) ve polietilen (PE) olmuştur. Polimer matriks kompozit malzemeler, jeotermal akışkanların taşınımında giderek artan bir oranda alternatif olarak kullanım yeri bulmaktadır. Bu artışın en önemli nedeni, metaller, alaşımlar v.b. geleneksel malzemelerle kıyaslandığında kompozitlerin bir takım üstünlükler sunmasıdır. Bunlar yüksek spesifik mukavemet, hafiflik, dizayna yatkınlık ve jeotermal sıvı gibi oldukça agresif kimyasallar içeren ve sıcak-ıslak ortamlar altında dayanım olarak sıralanabilir.

Kompozitler, birden fazla malzemenin biraraya gelmesi ile elde edilen ve bileşenlerinden daha üstün ve yeni özelliklere sahip yapılardır. Kompozitlerin genelde sahip oldukları yüksek spesifik mukavemet, hafiflik, kimyasal ortamlara dayanım, dizayn esnekliği v.b. özelliklerden dolayı metal gibi geleneksel malzemelere karşı önemli üstünlükler sunarlar. Kompoziti oluşturan matriks ve mukavemetlendirici bileşenlerinin çok çeşitli malzemelerden farklı form ve özellikte seçimi mümkündür. Genelde matriks fazı süreklilik içerir ve yapı içinde değişik mimaride dağılmış mukavemetlendirici fazı çevreler. Matriks

fazı mukavemetlendirici bileşeni birarada tutan bir bağlayıcı gibi etki gösterip yapının yapısal bütünlüğünü sağlayıp, uygulanan yükün mukavemetlendirici faza transferini temin eder. Matris fazı aynı zamanda mukavemetlendiriciyi çevresel etkilere koruyup, çatlak oluşumunu başlatabilecek fiziksel hasarlara karşı korur.

Cam elyaf takviyeli polimer (FRP, fiberglass reinforced plastic) borular genel olarak iki tip matris malzemesinden üretilmektedir. Bunları epoksi ve poliester esaslı reçineler oluşturmaktadır ve tipik olarak 150°C ye kadar sıcaklıklarda kullanılabilir. Daha yüksek sıcaklıklarda ve özellikle polimer camsı geçiş sıcaklığı (T_g) na yakın sıcaklıklarda deformasyonlar, buharlaşmış sıvıların kompozit yapıda tahribatı söz konusu olabilmektedir. Boru içerisinde taşınan sıvının buhar fazına geçebileceği durumlarda, FRP sistemleri hasara duyarlı hale gelmekte, boru iç yüzeyine yakın bölgelerdeki elyaflar etkilenebilmektedir. İç basınç ve aksiyel yüklemelere maruz bırakılan borularda sızıntı hasarları sık olarak görülebilmektedir. Bu hasarlar, mikroçatlakların birleşmesi ile boru et kalınlığı boyunca çatlak ilerlemesi ile meydana gelebilmektedir. İlave olarak, boru yüzeyinden içeriye olabilecek sıvı penetrasyonu, delaminasyon (katmanlar arası kırılma) ve kalınlık boyunca elyaflara paralel olacak şekilde çatlak ilerlemesi ve dolayısı ile kompozitin uzun periyotta dayanımını etkileyebilmektedir. Polimer kompozit borularda en sık gözlemlenen mikroyapı kusurları; katmanlar arası ve katman içi boşluklar, uniform olmayan elyaf dağılımı ve fiberlerin sarım açısı (θ) dan sapması olarak tanımlanabilir. Kompozit borularda hasar oluşumu ve performans bütün bu kusurlardan önemli derecede etkilenebilmektedir. İlave olarak, elyaf ve matris arasında oluşan arayüzey (interface) ve katmanlar arası oluşan laminaler arası bölge (interlaminar region) hasar oluşumu ve kırılma başlangıcı üzerinde oldukça belirgin etkileri bulunmaktadır. Kompozit boruların mekanik performansları ve suyun bu tip borular üzerindeki etkileri hakkında çalışmalar vardır [2-13]. Ancak jeotermal suyun kompozit boruların üzerindeki etkisi hakkında çalışmalar oldukça kısıtlıdır.

Kompozitlerin nemli-ıslak ortamlara karşı dayanımları genelde yüksektir. Suyun kompozit yapıya absorpsiyonu mekanik özellikleri etkileyen en önemli etken olarak değerlendirilir. Bunun yanında, belli sıcaklıklarda belli sürelerde bırakılmış yapılardaki hidrotermal yaşlanma matris çatlaklarına neden olabilmektedir. Hidrotermal yaşlanma sırasında kompozit arayüzeylerindeki hasarı gösterir çalışmalar mevcuttur [32-34].

Kompozit yapıda su yada su buharı, matris, fiber, fiber/matris yüzeyi veya mikrokırılma ve delaminasyonun olduğu boşlukların içerisinde yer alabilir. Emilen su, polimer zincirleri arasında bir ayırıcı katman görevi yaparak kompozit mukavemeti, kopma strain, Young modülü değerlerini düşürür. Kompozitlerin mukavemetindeki düşüşle ilgili nemin ve çözeltinin etkisi çoğu zaman küçüktür. Bunun yanında eğer fiber özelliklerindeki bozunma önemli mertebede ise, kompozit modülündeki değişimler yüksek seviyelerde olabilmektedir. Mekanik özelliklerdeki kayıplar matrisin plastikleşmesi ve fiber/matris ara yüzeyindeki bozunmalardan kaynaklanabilir. Ayrıca, su moleküllerinin yapıya geçişi matrisi genişletmekte ve iç gerilimlerin oluşumuna ve esnekliğin kaybolmasına sebep olabilmektedir. Kompozit katmanları arası bağlanmanın yok olması ile delaminasyon tipi kırılmalar oluşabilmektedir. Delaminasyon laminaler içerisinde tabakaların birbirinden ayrılması ile oluşan adhesive tip bir kırılma mekanizmasıdır. Lamina yapıdaki laminaler arası stresler mekanik streslerin yanı sıra sıcaklık ve nem oranına bağımlı olarak hidrotermal etkiler sonucunda oluşabilmektedir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Malzemeler

Bu çalışmada, mukavemetlendirici olarak Cam Elyaf ürünü fiberlerden üretilmiş 0/90° örgü E tipi cam fabrik; poliester (Cam Elyaf 266) ve epoksi (Shell Epon 816) reçineler matris malzemeleri olarak kullanılmıştır. Epoksi reçinenin viskozitesinin düşürülmesi için %10 oranında Cardura E 10 (Shell) ilave edilmiştir. Epoksi için ağı. % 55 oranında cycloaliphatic amine sertleştirici (Shell Epikure F 205)

kullanılmıştır. Poliester reçine için hızlandırıcı ve polimerizasyon başlatıcı olarak %ağ. 0.11 cobalt naphthenate (CoNAP) ve %ağ. 1 methyl ethyl ketone peroxide (MEKP) kullanılmıştır. Ayrıca, dolgu malzeme olarak %ağ. 3 oranında yaklaşık 5 µm çapında ve 600 µm boyunda karbon parçacıklar epoksi reçineye eklenmiştir.

2.2. Kompozit Üretimi

E-Cam/poliester (poliester kompozit), E-Cam/epoksi (epoksi kompozit) and E-Cam/karbon parçacık ilaveli epoksi (epoksi-k kompozit) kompozit borular tüp sarma tekniği ile üretilmiştir. Bu proses sırasında cam fabrikler 85 mm. çapındaki çelik mandrel üzerine sarılmak üzere reçineyle emdirilmiştir. Bu proses öncesinde mandrelin yüzeyi parlatılarak düzleştirilmiştir. Kompozit malzemenin kolayca ayrılabilmesi için yüzeye ayırıcı malzeme sürülmüştür. Kompozitler oda sıcaklığında polimerize (curing) olmasından sonra post-curing evresi için fırınlanmıştır. Post-curing evresi poliester kompozitler için 110°C de, epoksi kompozitler için ise 140°C de olmak üzere 1.5 saat seçilmiştir. Kompozitlerin soğuma işleminden sonra kompozit borular mandrelden bir ayırıcı aparat yardımı ile çıkarılmıştır. Kompozit tüpler herbirinin iç çapları 85 mm. ve kalınlıkları 4 mm. olarak üretilmiştir. Fiber hacim oranları matris yanma deneyleri ile ölçülmüş ve poliester, epoksi ve epoksi-c kompozit borular için, izafi olarak, 45 ± 1, 40 ± 1 ve 42 ± 1 % bulunmuştur.

2.3. Deneysel Yöntemler

2.3.1. Kompozit Tüplerin Sıvı Absorbsiyon Değerleri

İlk olarak üretilen kompozit borular boyları 40 mm. uzunluğunda ve iç ve dış çapları 85 ve 93 mm. olacak şekilde kesilmiştir. Kesme işlemi tamamlandıktan sonra numuneler kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Numunelerin bir bölümü 84°C sıcaklıktaki jeotermal ortama (Balçova Jeotermal kaynak çıkışı) maruz bırakılmıştır. Jeotermal havuzda bulunan numunelerin ağırlıkları doygunluğa ulaşıncaya kadar herbirinin ağırlıkları periodik olarak ölçülmüştür. Numunelerin su emme değerleri (M_t) Denklem (1)'e göre hesaplanmış ve herbir numune için sıvı emme değeri zamanın kare köküne göre grafikleri çizilmiştir.

$$M_t = \frac{m - m_0}{m_0} \times 100 \quad (1)$$

Denklemdaki m and m_0 simgeleri sırasıyla ıslak ve kuru numunelerin ağırlıklarını temsil etmektedir. Doymuş numuneler mekanik teste tabi tutulmuştur.

2.3.2. Mekanik Test

Kompozit numuneler Schimadzu™ mekanik test cihazı kullanılarak aksenal ve radyal yönde basma testine tabi tutulmuştur. Basma hızları, aksenal ve radyal yönler için sırasıyla 3 ve 5 mm/dak. olarak seçilmiştir. Testler sırasında her bir numune için yük-yer değiştirme değerlerinin grafikleri çizilmiştir. Ayrıca, aksenal yüklemeler için, uygulanan yük ve arakesit alanlarından stress değerleri ve numunelerin ilk boy ve değişen basma plaka yer değişiminden strain değerleri hesaplanmıştır. Mukeymet değerleri maksimum stress değerlerinden ve basma modülü stress-strain grafikleri eğiminden hesaplanmıştır.

2.3.3. Jeotermal Ortama Maruz Bırakılan Yüzeylerde Oluşan Birikimlerin Analizi

Kompozit boru numuneleri jeotermal ortama maruz bırakıldıktan sonra yüzeylerde oluşan birikimler Taramalı Electron Mikroskopu (SEM, Philips™ XL 30S FEG) ile analiz edilmiştir. Ayrıca yüzeyde

oluşan bu birikimlerin elementsel kompozisyonlarını araştırmak içinde SEM-energy dispersive X-Ray (SEM-EDX) spektroskopisi cihazı kullanılmıştır. Analizlerden önce numuneler kurutulup elektriksel iletkenlik için üzerleri ince altın tabaka ile kaplanmıştır.

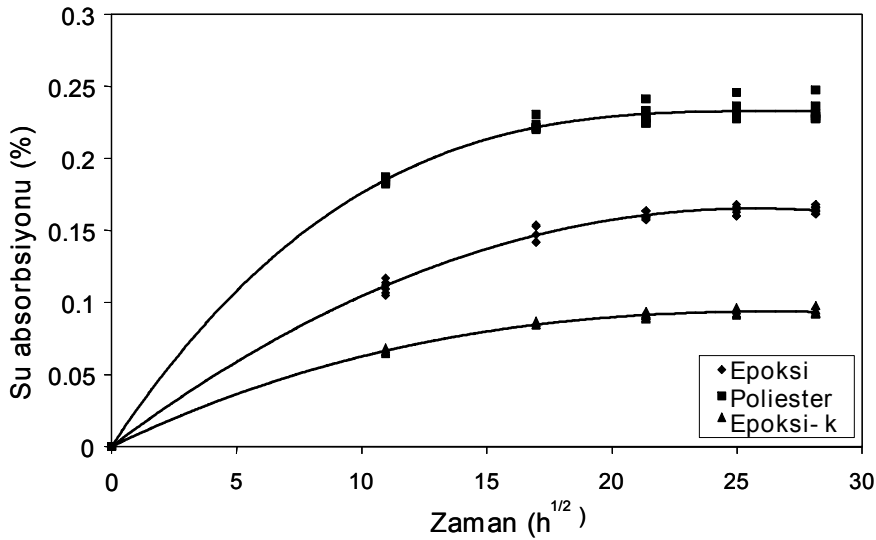
3. SONUÇLAR

3.1. Kompozit Boruların Su Absorbsiyon Değerleri

Kompozit numuneler su absorpsiyon doygunluğuna ulaşmaya kadar 84°C deki jeotermal akışkan havuzda tutulmuştur. Şekil 1 de jeotermal sıvıya maruz kalmış numunelerin su emme yüzdelerinin zamana göre grafiği gösterilmiştir. Şekil 1 de görüldüğü gibi poliester kompozitlerin su emme değerleri en yüksektir ve karbon parçacıkları ilave edilmiş epoksi kompozitler ise en düşük değerlere sahiptirler. Poliester, epoksi and epoksi-C nin doyma değerleri sırasıyla % 0.22, 0.15 ve 0.07 ye ulaşmıştır. Su emme ve zaman grafikleri esas alınarak kompozit yapılarda su difüzyon sabitleri (D) hesaplanmıştır. Difüzyon sabiti (D) Denklem 2 kullanılarak Şekil 1 deki eğrilerin eğiminden hesaplanabilmektedir.

$$D = \pi \cdot \left(\frac{h}{4 \cdot M_m} \right)^2 \cdot \left(\frac{M_2 - M_1}{t_2 - t_1} \right)^2 \quad (2)$$

Denklemde h ve M_m numunenin kalınlığı ve maksimum su emme oranını temsil etmektedir [16]. Sonuç olarak poliester, epoksi and epoksi-k kompozitler için bu numunelerdeki suyun difüzyon sabitleri sırasıyla 0.22, 0.15 and 0.07 x 10⁻¹³ m² s⁻¹ olarak bulunmuştur.



Şekil 1. Jeotermal akışkan ortamına maruz bırakılmış değişik matris malzemesi ile tüp çevirme yöntemine göre üretilmiş kompozitlerin su absorpsiyon – zaman grafikleri.

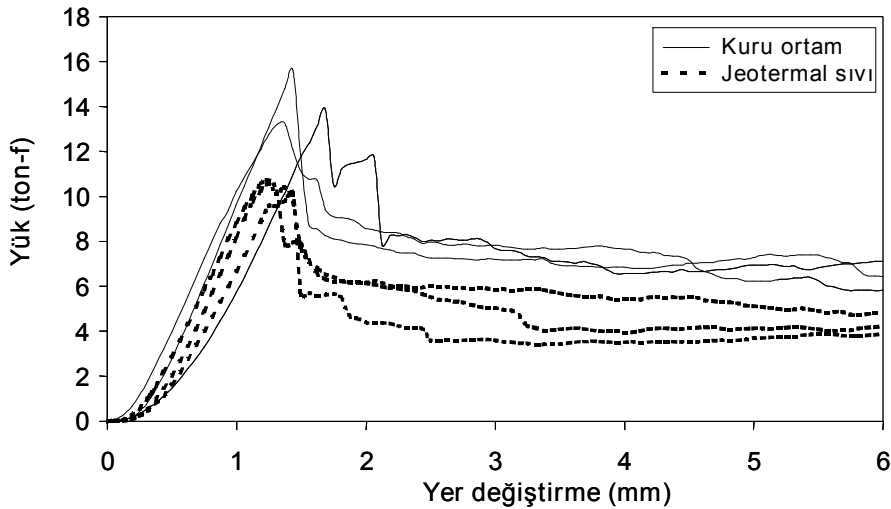
3.2. Basma Mekanik Özellikler

Şekil 2-7 de tüp çevirme yöntemiyle farklı matriks malzemeden üretilmiş ve kuru ortam yada jeotermal akışkana maruz bırakılmış polimer kompozitlerin aksenal ve radial yüklemeler altında yük-yer değıştirme (stroke) grafikleri gösterilmiştir. Şekil 2, 4 ve 6 da görülen poliester, epoksi ve epoksi-k için aksenal yüklemeye koşullarında yük değeri stroke değeriyle bağılı olarak ilk aşamada artmaktadır. Yükün en yüksek değeri ise malzeme kırılmış ve yük değeri düşmüştür. Ekenel yüklemeye altında, poliester kompozitlerin mukavemet değeri en yüksek ölçülmüştür. Poliester kompozitlerde kırılma daha gvrak bir davranış gösterir iken, epoksilerde üst stress değeri akma davranışı gözlemlenmiştir. Tablo 1 de değışik tipte kompozitlerin jeotermal öncesi ve sonrası aksenal yüklemeye ile ölçülen mekanik özellikleri verilmiştir. Epoksi matriks (Epon 816) ile kıyaslandığında, poliester matriks kompozitler en yüksek mukavemet değeri göstermiştir. Kuru ortamda ortalama mukavemet değeri poliester ve epoksi numuneler için sırasıyla 130 ve 60 MPa dır.

Şekil 3, 5 ve 7 de jeotermal ortama bırakılmış ve kuru ortamda hazırlanan E-cam/polimer kompozitlerin radial basma yükleri altındaki mekanik davranışları görülmektedir. Grafiklerden de görülebileceği gibi, radial yükler altında numuneler ilerleyen (progressive) tip kırılma davranışları göstermiştir. Ayrıca, poliester kompozitler daha kırılğan bir davranış göstermesinden dolayı yük değışimleri daha fazladır. Yük değeri polisr ve epoksi-k numuneler için birbirine yakın olmasına rağmen, epoksi ye göre daha yüksek ölçülmüştür.

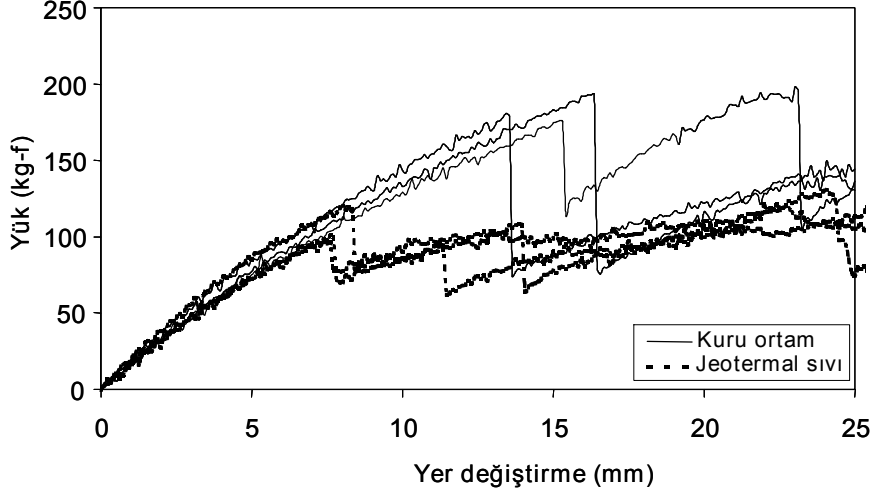
Jeotermal akışkan ortamının etkisinden dolayı, poliester kompozitlerin mukavemet ve en üst stressdeki strain değeri önemli ölçüde azalmıştır. Bununla birlikte, epoksi matriks kompozitlerde jeotermal ortamdan dolayı oluşan özelliklerdeki değışimler oldukça sınırlı seviyede olduğu bulunmuştur. Ancak, kompozitlerin modulus değeri tüm numuneler için sıvı ortama maruz kalmasından dolayı azaldığı belirlenmiştir.

Bu sonuçlar, poliester kompozitlerin epoksi (Epon 816 ve Cardura 10 ile) kompozitler ile mukayese edildiğinde daha yüksek mukavemet değeriyle sahip olduğu, ancak jeotermal ortam altında poliester kompozit özelliklerindeki bozunmanın da yüksek olduğunu göstermiştir. Bu malzemelerin daha fazla seviyede özellik bozunumu göstermesi poliester kompozitlerin daha yüksek oranda su absorpsiyonu ile ilişkilendirilebilir. Elyaf/matriks arası arayüzeylerin özelliklerinin su absorpsiyonu nedeni ile etkilenmesi kompozit mekanik özelliklerini etkilemektedir.

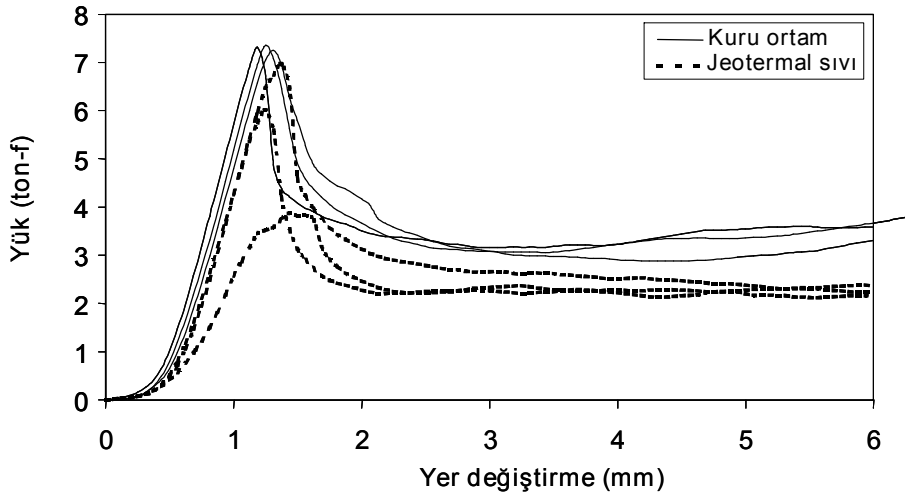


Şekil 2. Jeotermal sıvı ve kuru ortama maruz bırakılmış E-cam/poliester kompozitlerin aksenal basma yüklemeleri altında yük-yer değıştirme (stroke) grafikleri.

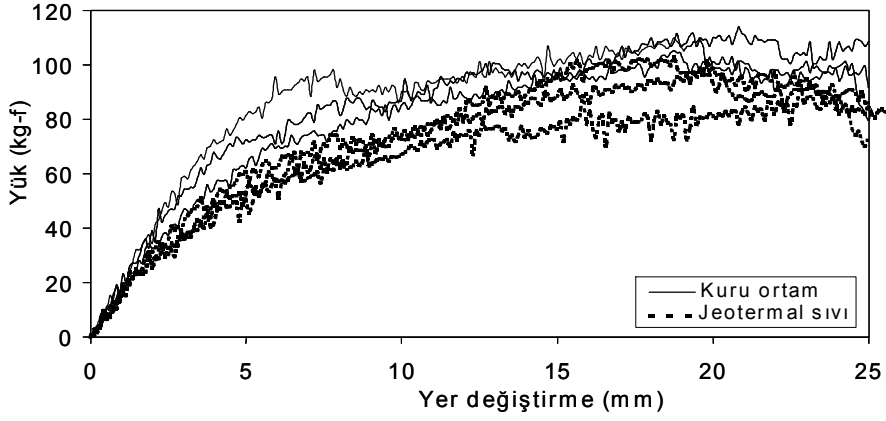
Ayrıca kompozit borular için aksel ve radial yöndeki yüklemeler sonucunda oluşan kırılma modlarında araştırılmıştır. Aksel yönde oluşan modlar; fiber mikroçarpılma (fiber microbuckling), elmas şekilli çarpılma ve matris kırılmasıdır. Radyal yönde uygulanan yük sonunda ise makro kırılmalar yerine mikro kırılmalar (fiber kırılma, fiber/matriks ayrılması ve matris mikro çatlama) gözlemlenmiştir.



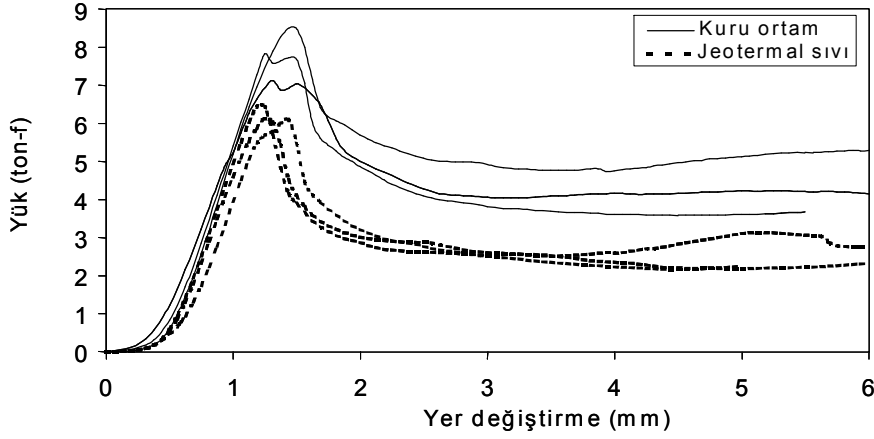
Şekil 3. Jeotermal sıvı ve kuru ortama maruz bırakılmış E-cam/poliester kompozitlerin radial basma yüklemeleri altında yük-yer değiştirme (stroke) grafikleri.



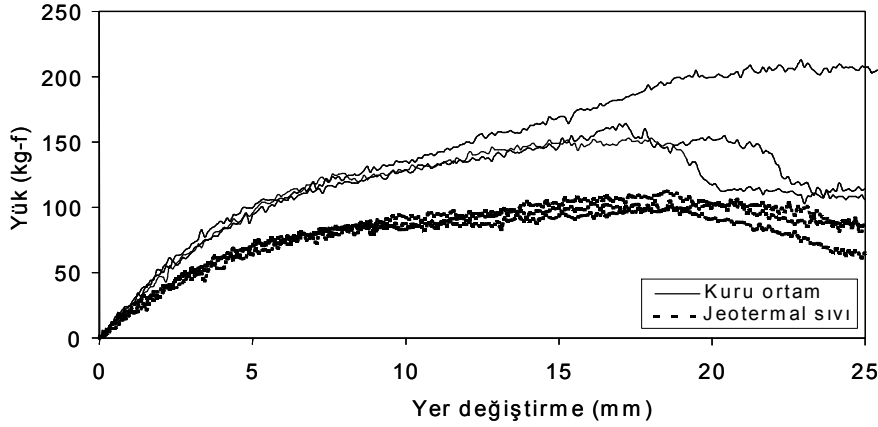
Şekil 4. Jeotermal sıvı ve kuru ortama maruz bırakılmış E-cam/epoksi kompozitlerin aksel basma yüklemeleri altında yük-yer değiştirme (stroke) grafikleri.



Şekil 5. Jeotermal sıvı ve kuru ortama maruz bırakılmış E-cam/epoksi kompozitlerin radial basma yüklemeleri altında yük-yer değiştirme (stroke) grafikleri.



Şekil 6. Jeotermal sıvı ve kuru ortama maruz bırakılmış E-cam/ karbon partikül ilave edilmiş epoksi (epoksi-k) kompozitlerin eksenel basma yüklemeleri altında yük-yer değiştirme (stroke) grafikleri.



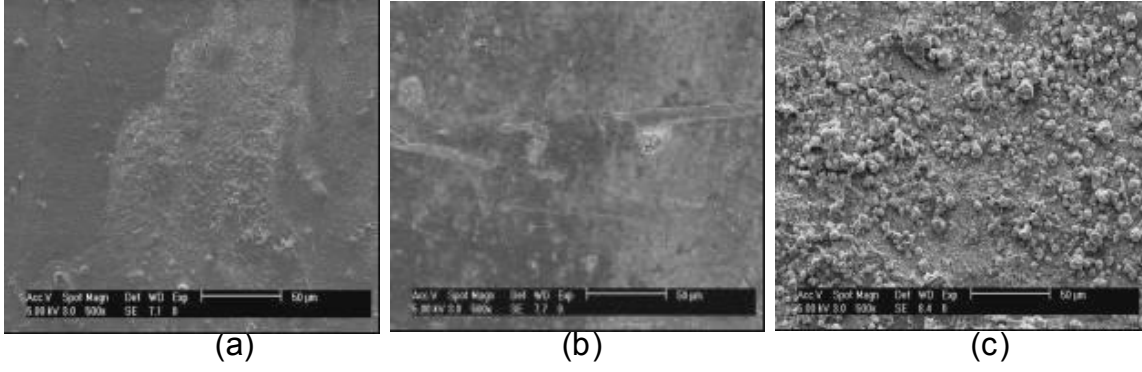
Şekil 7. Jeotermal sıvı ve kuru ortama maruz bırakılmış E-cam/ karbon partikül ilave edilmiş epoksi (epoksi-k) kompozitlerin radial basma yüklemeleri altında yük-yer değiştirme (stroke) grafikleri.

Tablo 1. Değişik tipte kompozitlerin jeotermal akışkan ve kuru ortam sonrası eksenel yükleme ile ölçülen mekanik özellikleri.

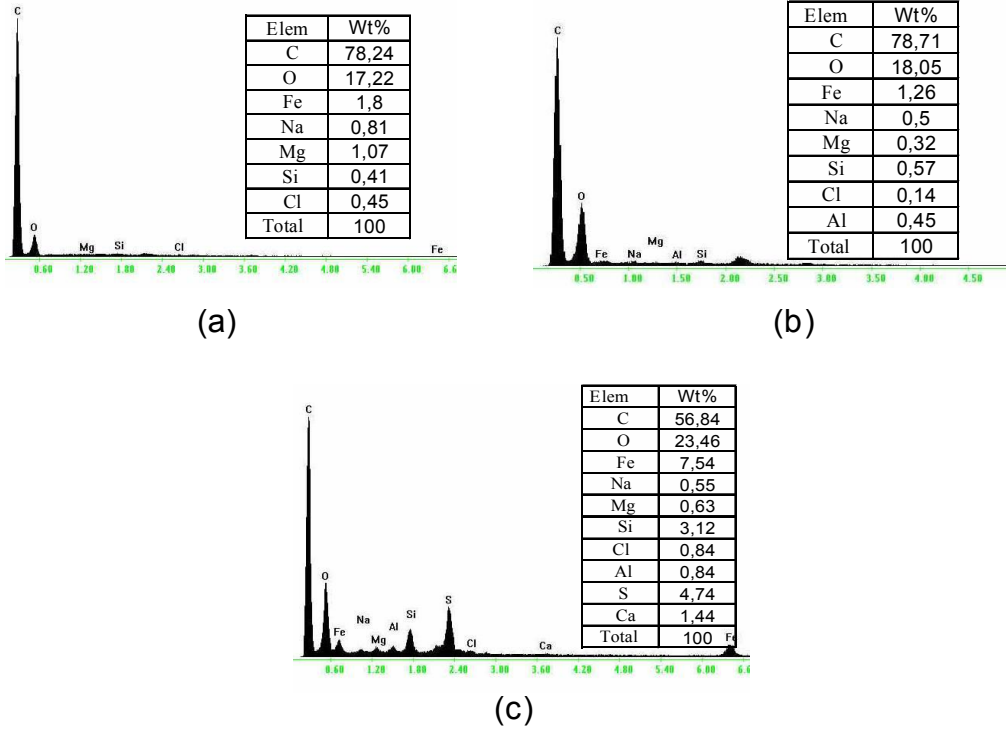
Kompozit		Maximum yük (kgf)	Maksi. yükteki stroke (mm)	Ortalama mukave. (MPa)	Maksi. stress deki ortalama strain	Ortalama elastic moduli (MPa)	Doyma noktası ortalama su absorb. (%)
Poliester kompozit	Kuru	14000	1.43	130	0.037	3700	-
	Jeotermal	10000	1.25	100	0.033	3400	0.22
	Değişim (%)	- 28.6	- 12.6	- 23.1	- 10.8	- 8.1	-
Epoksi kompozit	Kuru	7300	1.25	60	0.038	3000	-
	Jeotermal	5500	1.30	50	0.031	2400	0.15
	Değişim (%)	- 24.7	+ 4	- 16.7	- 18.4	- 20	-
Epoksi-k kompozit	Kuru	7500	1.43	60	0.034	2600	-
	Jeotermal	6100	1.25	47	0.030	2500	0.07
	Değişim (%)	- 18.7	- 12.6	- 21.7	- 11.8	- 3.8	-

3.3 Jeotermal Ortama Maruz Bırakılan Yüzeylerde Oluşan Birikimlerin Analizi

Kompozit boru numuneleri jeotermal ortama maruz bırakıldıktan sonra yüzeylerde oluşan birikimler SEM ile analiz edilmiştir. Ayrıca yüzeydeki birikimlerin elementsel kompozisyonları SEM-EDX spektroskopisi ile incelenmiştir. Şekil 8 de sırası ile kuru, deionize su ve jeotermal sıvı ortamına maruz olmuş cam-epoksi yüzey görüntüleri örnek olarak verilmiştir. Jeotermal ortama maruz olan kompozit yüzeylerinde 1-30 mikron büyüklüklerinde partiküllerin biriktiği gözlemlenmiştir. Şekil 9 ise yüzey görüntüleri verilen numunelerden elde edilen elementel analiz sonuçlarını göstermektedir. Jeotermal ortama maruz kalan numunelerde oksijen, demir, silikon, klor, alüminyum, sülfür ve kalsiyum elementlerinde önemli seviyede artış olduğu görülmüştür. Grafiklerde görülen karbon ise polimer matriks den kaynaklanmaktadır. Sıcaklığa bağlı olarak 84°C de bazı karboart (CaCO_3) scaling oluşabilmektedir. Demir elementi demiroksit yada sulfur oranının yüksekliğinden dolayı demir sulfat olarak çökelebilmektedir. Ayrıca amorf silika çökmesi soğumadan dolayı gerçekleşebilir



Şekil 8. (a) kuru (b) deiyonize su ve (c) Jeotermal sıvı ortama maruz bırakılmış E-cam/ epoksi kompozitlerin SEM yüzey görüntüleri.



Şekil 9. (a) kuru (b) deiyonize su ve (c) Jeotermal sıvı ortama maruz bırakılmış E-cam/ epoksi kompozitlerin yüzeyinden alınan SEM-EDX elemental analiz sonuçları.

4. ÖZET

Örgü (woven) E-cam takviyeli polimer kompozitler tüp çevirme tekniği ile değişik polimer matrislerden üretilmiştir. Matris malzemeleri poliester, epoksi ve karbon partikül takviyeli epoksi reçineleri içermektedir. Su absorpsiyon deneyleri jeotermal akışkan ortamında poliester kompozitlerin diğer kompozitler ile mukayese edildiğinde en yüksek oranda su absorbe ettiğini göstermiştir. Karbon partikül ilavesi ile epoksi matrisin su absorpsiyon değerlerinin azaldığıda ayrıca bulunmuştur. Karbon partiküllerin epoksi içerisinde su diffüzyonunu belli seviyede azaltıcı bariyer fonksiyonuna sahip olduğu görülmüştür.

Mekanik test sonuçları, poliester kompozitlerin kuru ortamda hem aksel ve hem radial yönde yüklemelerde diğer kompozitler ile kıyaslandığına en yüksek mukavemete sahip olduğunu göstermiştir. Ancak, sonuçlar jeotermal ortam altında polister kompozit özelliklerindeki bozunmanın daha yüksek olduğunu göstermiştir. Bu malzemelerin daha fazla seviyede özellik bozunumu göstermesi poliester kompozitlerin daha yüksek oranda su absorpsiyonu ile ilişkilendirilebilir. Elyaf/matris arası arayüzeylerin özelliklerinin su absorpsiyonu nedeni ile etkilenmesi kompozit mekanik özelliklerini etkilemektedir. Kompozit borular için aksel yönde oluşan kırılma modları; fiber mikroçarpılma (fiber microbuckling), elmas şekilli çarpılma ve matris kırılması olmuştur. Radial yönde uygulanan yük sonunda ise makro kırılmalar yerine mikro kırılmalar (fiber kırılma, fiber/matris ayrılması ve matris mikro çatlama) gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] STAHL G., PATZAY G., WEISER L., KALMAN E., "Study of Calcite Scaling and Corrosion Processes in Geothermal Systems", *Geothermics* 29 (2000) 105-119
- [2] KAYNAK C., MAT O., "Uniaxial Fatigue Behavior of Filament-wound Cam-fiber/epoksi Composite Tubes", *Composites Science and Technology* 61 (2001) 1833-1840
- [3] PERREUX D., SURİ C., "A Study of the Coupling Between the Phenomena of Water Absorption and Damage in Cam/Epoksi Composite Pipes", *Composite Science and Technology* 57 (1997) 1403-1413
- [4] BAİ J., SEELEUTHNER P., BOMPARD P., "Mechanical Behaviour of $\pm 55^\circ$ Filament-Wound Cam-Fibre/Epoksi-Resin Tubes: I. Microstructural Analyses, Mechanical Behaviour and Damage Mechanisms of Composite Tubes Under Pure Tensile Loading, Pure Internal Pressure and Combined Loading" *Composites Science and Technology* 57 (1997) 141-153
- [5] BAİ J., SEELEUTHNER P., BOMPARD P., "Mechanical Behaviour of $\pm 55^\circ$ Filament-Wound Cam-Fibre/Epoksi-Resin Tubes: II. Micromechanical Model of Damage Initiation and The Competition Between Different Mechanisms" *Composites Science and Technology* 57 (1997) 155-164
- [6] BOND I., HUCKER M., WEAVER P., BLEAY S., HAQ S., "Mechanical Behaviour of Circular and Triangular Cam Fibres and Their Composites", *Composites Science and Technology*
- [7] KUGLER D., MOON T., "A Technique for Compression Testing of Composite Rings", *Composites: Part A* 33 (2002) 507-514
- [8] HARTE A., FLECK N., "Deformation and Failure Mechanisms of Braided Composite Tubes in Compression and Torsion", *Acta Materialia* 48 (2000) 1259-1271
- [9] SONG H., DU X., "Off-axis Crushing of GFRP Tubes", *Composite Science and Technology* 62 (2002) 2065-2073
- [10] GUPTA N., ABBAS H., "Lateral Collapse of Composite Cylindrical Tubes Between Flat Platens", *International Journal of Impact Engineering* 24 (2000) 329-346
- [11] PERREUX D., CHOQUEUSE D., DAVIES P., "Anomalies in Moisture Absorption of Cam Fiber Reinforced Epoksi Tubes", *Composites: Part A* 33 (2002) 147-154
- [12] SRIVASTAVA V., KAWADA H., "Fatigue Behaviour of Alumina-fibre-reinforced Epoksi Resin Composite Pipes Under Tensile and Compressive Loading Conditions", *Composite Science and Technology* 61 (2001) 2393-2403
- [13] MİRMİRAN A., SHAO Y., SHAHAWY M., "Analysis and Field Tests on the Performance of Composite Tubes Under Pile Driving Impact", *Composite Structures* 55 (2002) 127-135

-
- [14] LUND J., LIÉNAU PAUL, LUNIS B., "Geothermal Direct-use Engineering and Design Guidebook", Geo-Heat Center, Oregon Institute of Technology
- [15] HALILOĞLU N., "Korozyona Dayanıklı Malzeme Seçimi", Sınai Eğitim ve Geliştirme Merkezi
- [16] HAYASHI Y., "Fundamentals of Corrosion", Textbook for the Fourth International Group Training Course on Geothermal Energy", Held at Kyushu University
- [17] BOULTON L. H., WRIGHT G. A., "Fundamentals of Metallic Corrosion and Its Prevention", Australasian Corrosion Association
- [18] BATIS G., KOULOUMBI N., KOTSAKOU K., "Corrosion and Protection of Carbon Steel in Low Enthalpy Geothermal Fluids. The Case of Sousaki in Greece", Geothermics Vol.26 No.1 (1997) 65-82
- [19] www.geothermal.marin.org
- [20] BUCKLEY C., HARDING J., HOU J., RUIZ C., TROJANOWSKI A., "Deformation of Thermosetting Resins at Impact Rates of Strain. Part I: Experimental Study", Journal of the Mechanics and Physics of Solids 49 (2001) 1517-1538
- [21] CHEN W., LU F., CHENG M., "Tension and Compression Tests of Two Polymers Under Quasistatic and Dynamic Loading", Polymer Testing 21 (2002) 113-121
- [22] KHAN M., SIMPSON G., TOWNSEND C., "A Comparison of the Mechanical Properties in Compression of Two Resin Systems", Material Letters 52 (2002) 173-179
- [23] BASCHEK G., HARTWIG G., ZHRADNIK F., "Effect of Water Absorption in Polymers at Low and High Temperatures", Polymer 40 (1999) 3433-3441
- [24] J. BRANDRUP, E.H. IMMERGUT, AND E.A. GRULKE, eds, "Advanced Polymers Handbook", published by John Wiley and Sons, 1999
- [25] BOR Z JANG., "Advanced Polymer Composites", published by ASM, 1994
- [26] HULL D., CLYNE T., "An Introduction To Composite Materials", Cambridge University Press, 1996
- [27] www.globalcomposites.com
- [28] http://www.vetrotexasiapacific.com/fabrication_processes/rap_centrif.html
- [29] www.eng.hawaii.edu/~asme/vehicle/design3.html
- [30] SCHUTTE C., MCAULIFFE M., "Durability of Cam Fiber/Polymer Composites", Polymer Division
- [31] CARDON A. H., QUIN Y., VAN VOSSOLE C., "Durability Analysis of Polymer Matrix Composites for Structural Applications", Computers and Structures 76 (2000) 35-41
- [32] SCIDA D., ABOURA Z., BENZEGGAGH M., "The Effect of Ageing on the Damage Events in Woven-fiber Composite Materials Under Different Loading conditions", Composites Science and Technology 62 (2002) 551-557
- [33] MERDAS I., THOMINETTE F., TCHARKHTCHI A., VERDU J., "Factors Governing Water Absorption by Composite Matrices", Composites Science and Technology 62 (2002) 487-492
- [34] SCHIEFFER A., MAIRE J., LEVEQUE D., "A Coupled Analyses of Mechanical Behaviour and Ageing for Polymer-Matrix Composites", Composite Science and Technology 62 (2002) 543-549

ÖZGEÇMİŞLER

Metin TANOĞLU

1992 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Metalürji Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. 1996 yılında ABD'de University of Delaware'de Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans, 2000 yılında yine aynı üniversite ve bölümde doktora yapmıştır. Master ve doktora çalışmaları boyunca University of Delaware Center for Composite Materials da çalışmalarda bulunmuştur. 2000 yılında İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Makina Mühendisliği Bölümü'nde göreve başlayıp, halen Doç. Dr. olarak aynı bölümde bulunmaktadır. Kompozit malzemeler ve üretim teknolojileri, polimerik malzemeler, malzemelerin mikroyapı, fiziksel ve mekanik karakterizasyonu konularında çeşitli projelerin yürütücülüğünü sürdürmektedir.

Murat TOĞULGA

2000 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. 2003 yılında İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Enerji Mühendisliği Programı'ndan "Jeotermal uygulamalar için yüksek performanslı boru malzemesi prosesi ve karakterizasyonu" isimli tezi çalışmasını bitirerek yüksek lisans derecesi almıştır. Halen Petrol Ofisi İzmir Bölge Müdürlüğü ofisinde çalışmaktadır.

Gülden GÖKÇEN

1968 yılı İzmir doğumludur. 1990 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nden 1992 yılında Yüksek Mühendis, 2000 yılındada Doktor ünvanı almıştır. 1996 yılında Auckland Üniversitesi Jeotermal Enstitüsü'nde bir yıllık "Jeotermal Enerji Teknolojisi Diploma Kursu"na katılmıştır. 1997 yılında NATO A2 bursu ile ABD'de "Jeotermal Elektrik Santralleri'nde Reboiler Teknolojisi" üzerine dört aylık bir çalışma yapmıştır. 1991-2000 yılları arasında Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmıştır. 2000 yılından bu yana İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Makina Mühendisliği Bölümü'nde Yard.Doç.Dr. olarak görev yapmaktadır. Jeotermal elektrik santrallerinde verim artırma yöntemleri, ısı eşanjörleri, jeotermal enerji kullanım yöntemleri ve jeotermal enerjinin çevresel etkileri konularında çalışmaktadır.