Kompozit Boru Hatları için yeni bir Hızlı Bağlantı Tamir Kitinin Mekanik Performans Analizi

Mechanical Performance Analysis of a New Quick Repair Connect Kit for Composite Pipelines

Cihat ARDA[1], Cihan CÖMERT[1], M. Hüsnü DİRİKOLU[*2] ([*] : *sorumlu yazar*)

[*]: dirikolumh@iuc.edu.tr, ORCID: 0000-0001-6279-2283
[1]: *Tasarım Merkezi, Subor Boru San. ve Tic. A.Ş., Sakarya, Türkiye*
[2]: *Mühendislik Fak., Makine Müh. Bl., İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, İstanbul, Türkiye*

Özet İç basınç etkisinde çalışan Cam Takviyeli Plastik Kompozit boruların daha kısa zamanda tamirine yönelik yeni bir Bağlantı Tamir Kiti geliştirilmiştir. Bu çalışmada öncelikle tamir kitinin hem montajdaki hem de basınç altındaki davranışlarına ait performans analizleri Solidworks Simulation Premium üzerinde Sonlu Eleman Metoduyla incelenmiştir. Ardından malzeme, boyut ve geometri bağlamında iyileştirmeler yapılmış ve laboratuvar ölçekli prototip imalatı gerçekleştirilmiştir. Son olarak, laboratuvar ortamında 25 Bar'lık basınç etkisinde başarıyla test edilen Tamir Bağlantı Kiti, sahada kullanılmaya başlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Cam Takviyeli Plastik, Kompozit Boru, Sonlu Eleman Metodu*

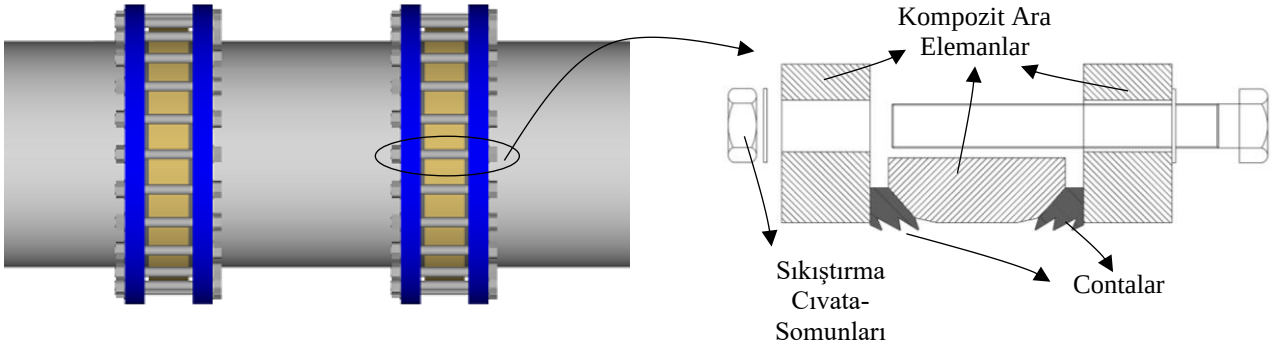
Abstract A new Connection Repair Kit has been developed for the repair of Glass Reinforced Plastic Composite pipes operating under the effect of internal pressure in a shorter time. In this study, first of all, the performance analyzes of the repair kit's behavior both in assembly and under pressure were examined using the Finite Element Method on Solidworks Simulation Premium. Then, improvements were made in terms of material, size and geometry, and laboratory scale prototype production was carried out. Finally, the Repair Connection Kit, which was successfully tested in a laboratory environment at 25 Bar pressure, has started to be used in the field.

Keywords: *Glass Reinforced Plastic, Composite Pipe, Finite Element Method*

I. GİRİŞ

BU bildiri çalışması, Subor Boru firmasının bünyesindeki Tasarım Merkezi'nde "Cam Takviyeli Plastik (*CTP*) Hızlı Bağlantı Ekipmanları Tasarımı ve İmalatı" adlı projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. *CTP* boru hatlarının yeniden devreye alınması, araya bağlantı borusu konulması, farklı malzemeli boru geçişleri, tamir edilme vb. işlemlerinde, *El Yatırması* veya *Çelik Manşon* teknikleri kullanılmaktır. *El Yatırması* ile tamirde kürleşme nedeniyle tamir süresi uzamakta ve ayrıca kullanılan ekipmanların özel amaçlı olmasından dolayı da maliyeti yüksek olmaktadır. *Çelik Manşon* kullanımında ise tedarik süresi ve maliyetler etkili olmaktadır. Boru hattının işletilmesi sırasında çeşitli nedenlerle sorun oluşması halinde,

standart manşonların boru bağlantısında tamir amaçlı kullanımında montaj zorluğu yaşanmakta ve süreç uzamaktadır. Bu dezavantajları bertaraf etmek üzere, Tasarımı ve Montajı Şekil 1'de gösterilen yeni bir Bağlantı Tamir Kiti geliştirilmiş olup, bu bağlantı sisteminin hem montajdaki hem de basınç altındaki davranışlarına ait performans analizleri Sonlu Eleman Metodu (*SEM*) yardımıyla incelenmiş, geri bildirimlerin ardından prototip imalatı gerçekleştirilmiş ve 25 Bar'lık basınç etkisinde başarıyla test edilmiştir.



Şekil 1. Yeni Kompozit Boru Bağlantı Tamir Kiti

II. MALZEMELER

Kırpılmış ve Örgülü fiber (Chopped Strand Mat ve Woven Roving - CSM/WR) şeklinde 5 katmanlı ve Polyester matrisli *CTP* kompozit boru ve bağlantı tamir kitindeki kompozit ara elemanların malzemesinin *11210 N/mm*'lik (bkz. Denklem (1)) Çember testi direngenliğine (*k*) dayalı Elastisite Modülü (*E*) *2854 MPa* ve Poissons Oranı *0.4* olup, konstrüksiyon bağlamında Çevresel Hoop karakterine sahiptir [1-4]. Kompozit borunun ve bağlantı kitindeki kompozit ara elemanların Çekme mukavemeti *150 MPa* ve Basma mukavemeti ise *166 MPa* olarak ölçülmüştür.

$$E = k.D_m^3/I \ , \ D_m = (D_{dış} + D_{iç})/2 \quad \text{ve} \quad I = \pi.\left(D_{dış}^4 - D_{iç}^4\right)/64 \qquad (1)$$

Bu denklemde *I*, D_m (=*607 mm*), $D_{dış}$ (=*617 mm*) ve $D_{iç}$ (=*597 mm*), sırasıyla kompozit boru kesitinin *2.* Atalet momentini, Ortalama, Dış ve İç çaplarını ifade etmektedir.

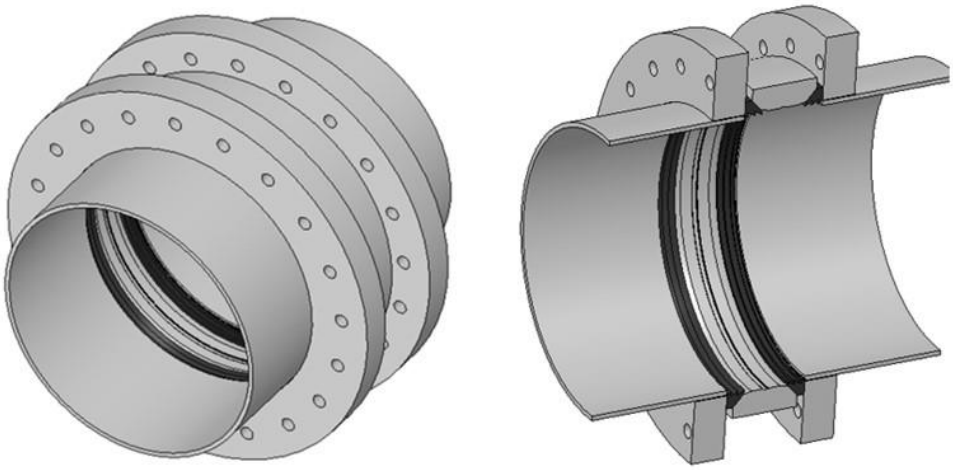
55±5 Shore A sertliğine sahip *EPDM* (*Ethylene Propylene Diene Monomer*) kauçuk conta malzemesi, Denklem (2)'de gösterilen ve C_{10}=*0.382 MPa* ve C_{01}=*0.096 MPa* katsayıları ile tanımlanan ikili terim Mooney Rivlin hiperelastik malzeme karakteristiğine ve ayrıca *3.207 MPa* Elastisite Modülüne, *0.956 MPa*'lık Kayma Modülüne, azami *13 MPa* değerinde kopma mukavemetine ve *1069 kg/m*^{3} yoğunluğa sahiptir [5-6].

$$W = C_{10}\,(I_1 - 3) + C_{01}\,(I_2 - 3) \qquad (2)$$

W, hiperelastik olan *EPDM* kauçuğun gerinim-enerjisi yoğunluğu fonksiyonudur. I_1 ve I_2 gerinim değişmezlerini, C_{10} ve C_{01} ise bu malzemenin hacim değişimi haricindeki deformasyonunu karakterize eden hiperelastik sabitlerdir.

III. KONSTRÜKSİYON VE MODELLEME

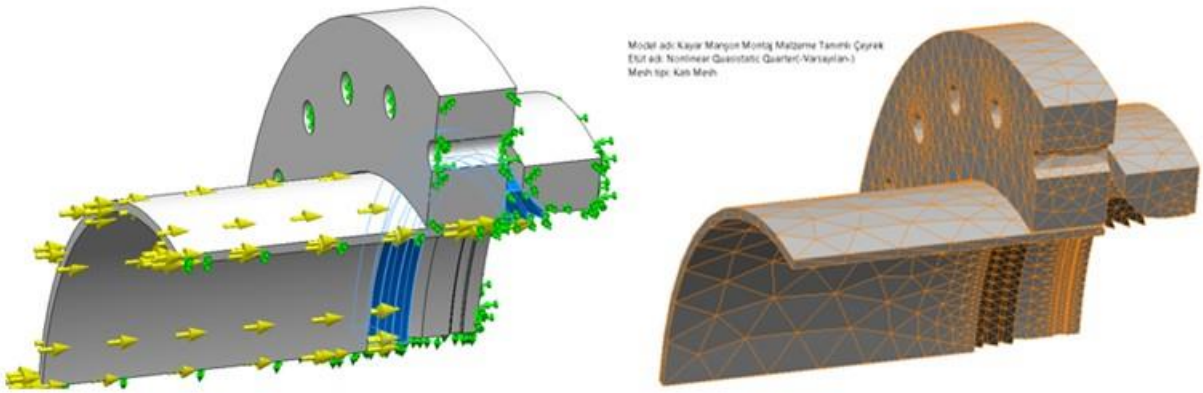
Şekil 1'de şematik olarak gösterilen Bağlantı Kitinin katı modeli *Solidworks® Simulation Premium* ileri mühendislik analiz programında oluşturulmuş ve kesitiyle beraber Şekil 2'de gösterilmiştir. Konstrüksiyonun çevresel simetriye sahip olmasından faydalanılarak, analizlerde öncelikle çeyrek ve ardından iki boyuta indirgenmiş üç boyutlu modelleme yaklaşımları kullanılabilmiştir.



Şekil 2. Yeni Kompozit Boru Tamir Bağlantı Kiti'nin katı modeli.

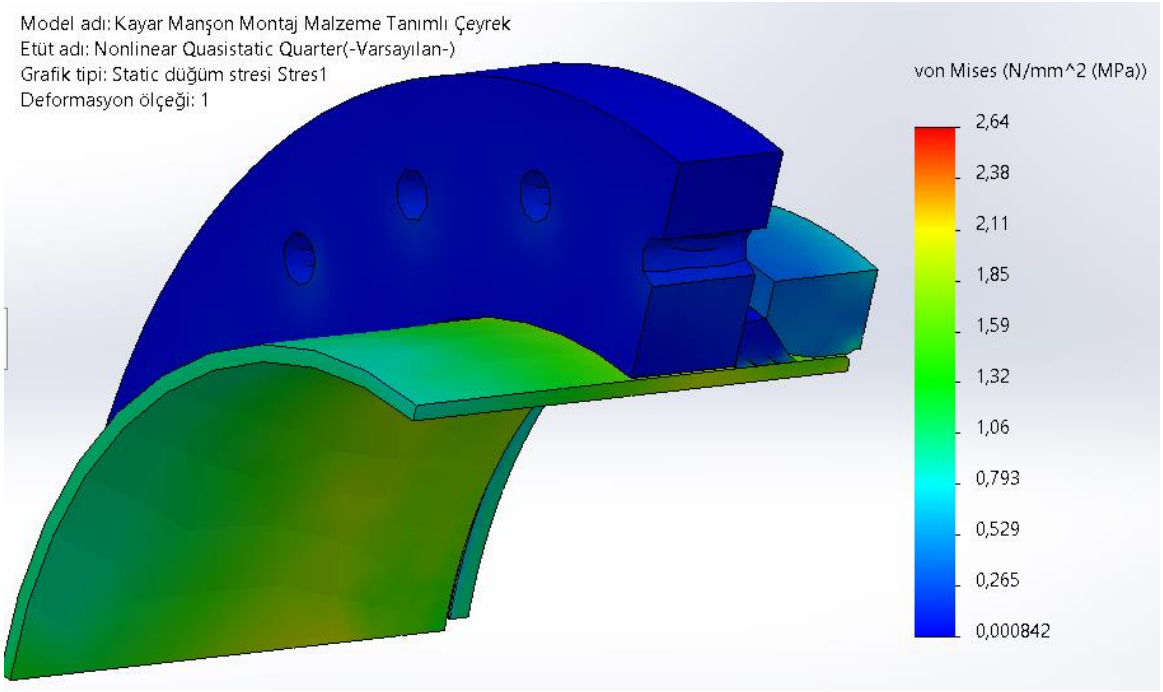
IV. MONTAJ AŞAMASININ SEM ANALİZİ

Tamir kitinin *EPDM* Contası ve Kompozit Elemanları üzerindeki yüklemeler, arızalı kısmı kesilen kompozit borunun contalara karşı karşılıklı doğrultularda *81.5 mm*'lik montajı ile oluşmaktadır. Bu durumu ifade eden sınır şartları ve Sonlu Eleman Ağı Şekil 3a ve 3b'de gösterilmiştir. Söz konusu hareket sonrasında şekillenen Conta ve Kompozit Bağlantı Parçaları üzerinde oluşan Gerilme, Gerinim ve daha sonraki basınç yüklemelerine esas teşkil edecek olan Deformasyon sonuçları Şekil 4-6 arasında gösterilmiştir.

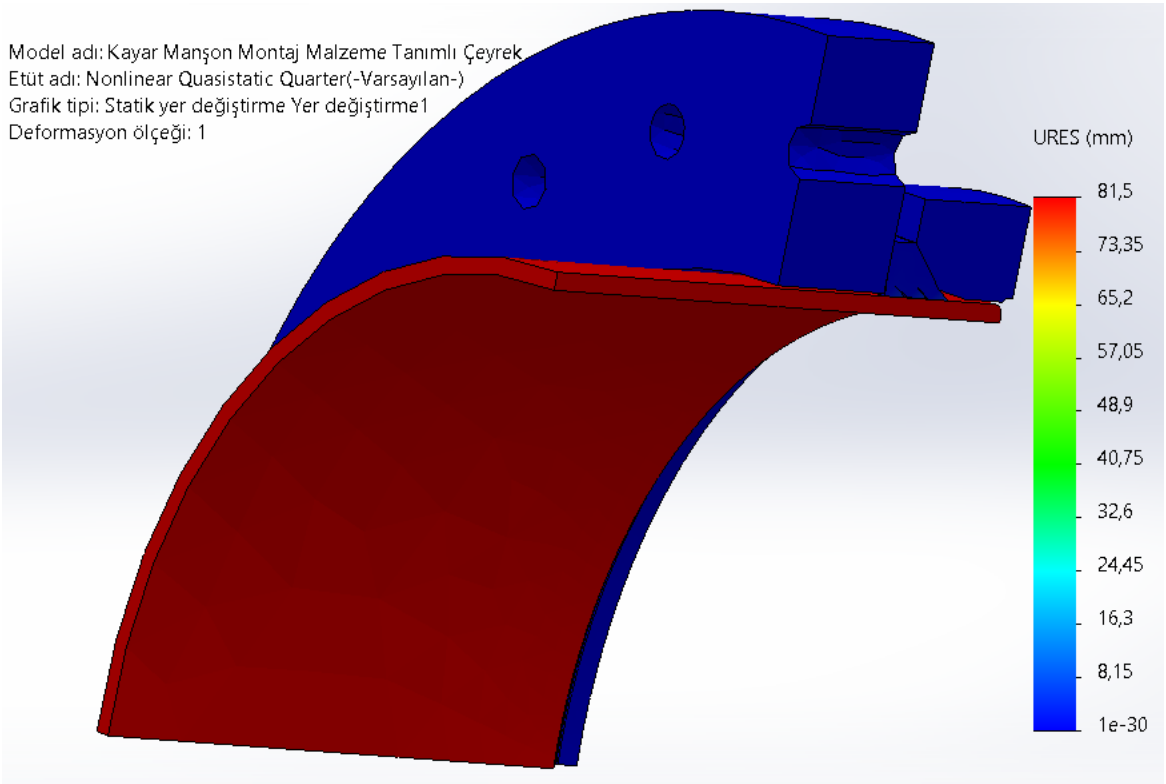


(a) **(b)**

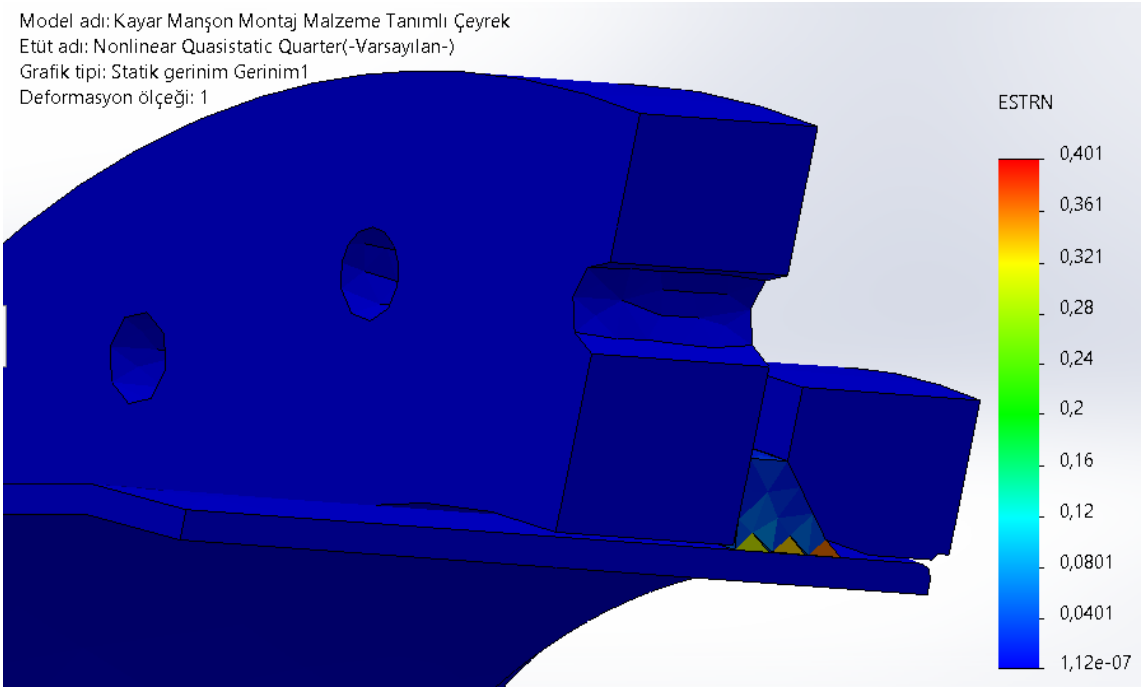
Şekil 3. Yeni Kompozit Boru Bağlantı Tamir Kiti'nin: **(a).** Sınır Şartları ve **(b).** SEM Ağı.



Şekil 4. Bağlantı Tamir Kiti'nin montajı sırasında oluşan bileşke iç gerilmeler.



Şekil 5. Bağlantı Tamir Kiti'nin montajı sırasında oluşan Deformasyonlar.

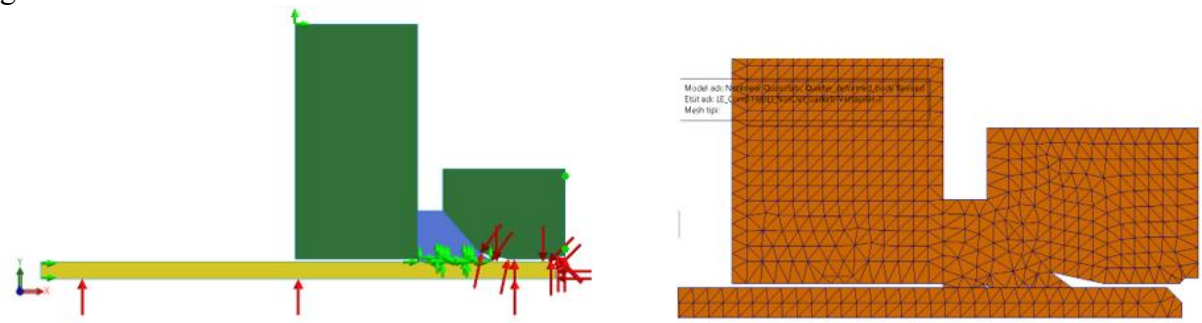


Şekil 6. Bağlantı Tamir Kiti'nin montajı sırasında oluşan Gerinimler.

Şekil 4'teki verilere dayanarak, yeni *CTP* bağlantı kitinin montajı sırasında hiçbir elemanda kayda değer zorlanmanın oluşmadığı hesaplanmıştır. Şekil 6'dan görülebileceği üzere, en yüksek gerinim, *EPDM* Contanın dişli kısmında meydana gelmektedir. Bu da contanın uç girintilerinin montaj sırasında şekil değiştirmesi nedeniyle beklenen bir durumdur.

V. MONTAJ SONRASI BASINÇLI TESTİN SEM PERFORMANS ANALİZİ

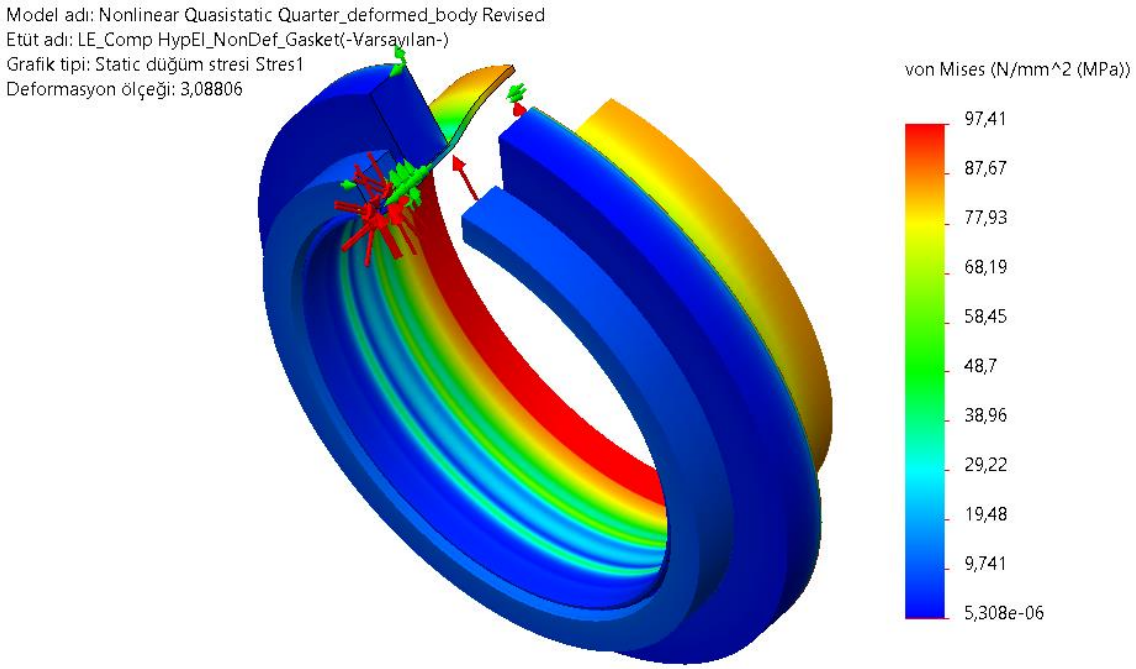
Montaj sonrasında oluşan nihai geometriye dayanarak, bu defa bağlantının sızdırmazlığının tespiti ve kompozit elemanların kesitlerinin hidrostatik olarak uygulanacak *25 Bar* değerindeki iç basınca dayanımının incelenmesi aşamasına geçilmiştir. Bu analiz için üç boyutlu çevresel simetriye dayalı oluşturulan iki boyutlu model ve sınır şartları ile SEM Ağı Şekil 7a ve 7b'de gösterilmektedir.



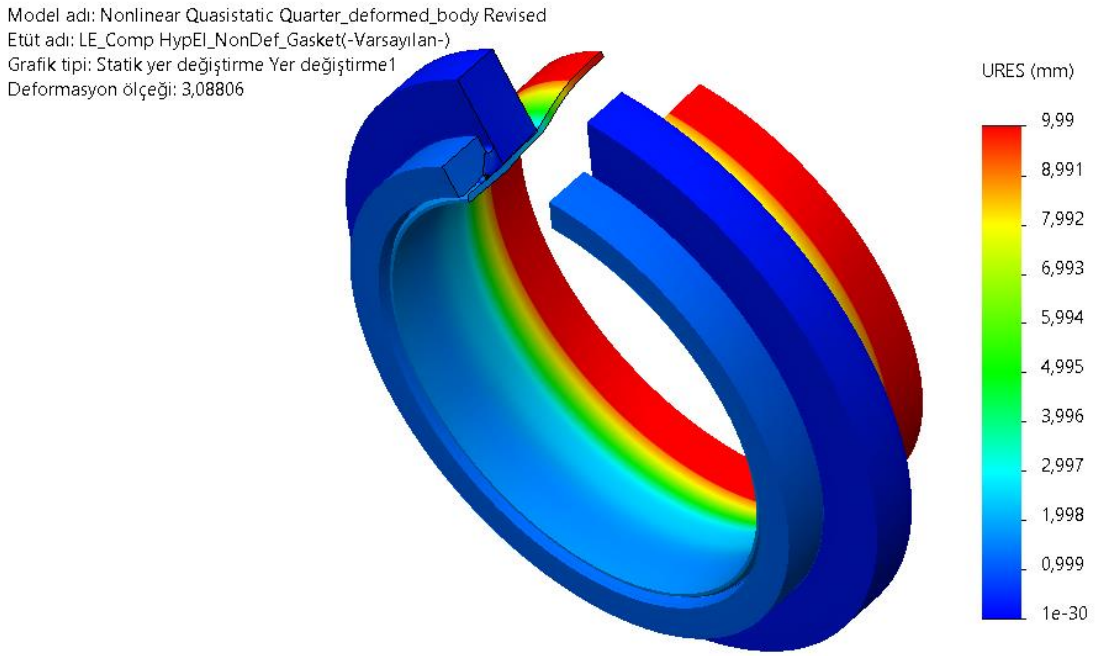
(**7a**). Deformasyon sonrası model ve sınır şartları. (**7b**). SEM Ağı.

Şekil 7a ve **7b.** *CTP* Bağlantı Tamir Kiti'nin *25 Bar* Basınç testi için analiz hazırlığı.

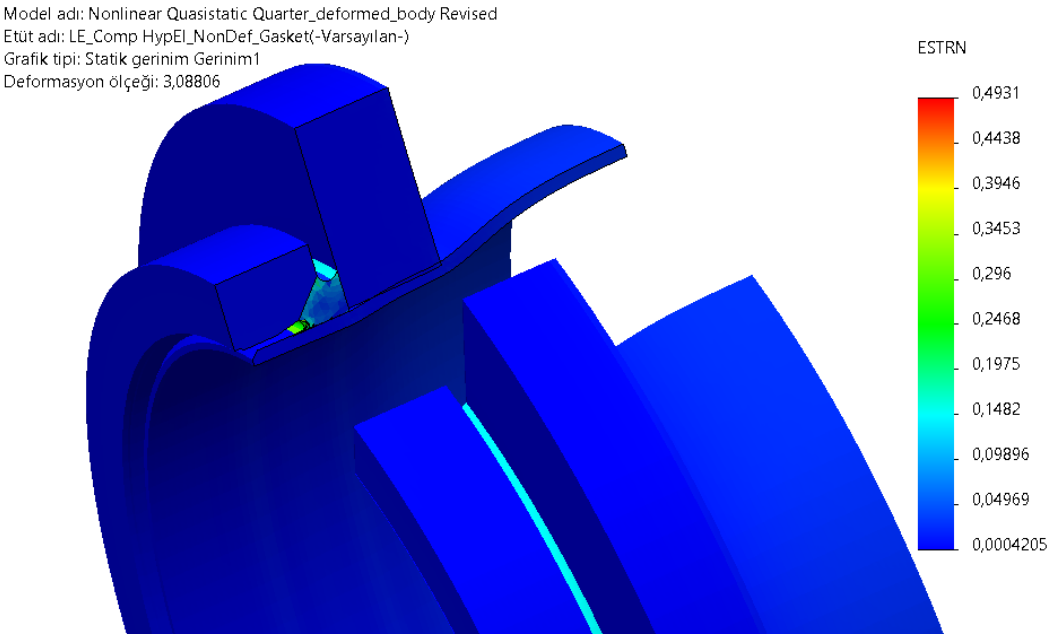
25 Bar (= *2.5 MPa*) iç test basıncı etkisinde gerçekleştirilen analizlerin sonuçları ise Şekil 8-10 arasında verilmiştir.



Şekil 8. Tamir Bağlantı Kiti'nin *25 Bar* test basıncı etkisinde oluşan bileşke iç gerilmeleri.



Şekil 9. *25 Bar* basınç etkisinde oluşan deformasyonlar.



Şekil 10. Test basıncı etkisinde oluşan gerinimler.

Şekil 8'den azami bileşke eşdeğer gerilmesinin *97.41 MPa* olduğu ve kompozit boruda gerçekleştiği hesaplanmıştır. Kompozit borunun bu yüklemeye *1.54*'lük bir emniyetle dayandığı belirlenmiştir. Benzer şekilde, Şekil 9'da gösterilen azami deformasyonun yine kompozit boruda ve *9.99 mm*'lik bir değerde olduğu hesaplanmıştır. Şekil 10'da verilen Gerinimin ise şekil değişiminin azami düzeye ulaştığı *EPDM* Contasında ve *%49.31*'lik bir oranda gerçekleştiği görülmüştür.

Hesaplanan bu değerlerin doğruluğunu ve tasarımın uygunluğunu belirlemek üzere Şekil 11'de gösterilen prototip Bağlantı Tamir Kiti imal edilmiş ve simülasyonda esas alınan sınır şartlarında *25 Bar* basınç yüklemesine tabi tutulmuştur.



Şekil 11. Bağlantı Tamir Kiti prototipinin *25 Bar* basınçta deneysel doğrulaması.

VI. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Sunulan çalışmada hasar görmüş *CTP* boru hatlarının yeniden devreye alınması için, *El Yatırması* ve *Çelik Manşon* metotlarına göre hem maliyet hem de uygulanma hızı açısından avantajlı ve özgün bir çözüm geliştirilmiştir. Geliştirilen bu çözümde kullanılan kompozit elemanların boyutlarının ve *EPDM* malzemeli contanın deformasyonunun uygunluğu, hem SEM'e dayalı nonlineer analizler ile hem de prototip olarak imal edilen bir kompozit boru Bağlantı Tamir Kiti'nin laboratuvar şartlarında *25 Bar* iç basınçta başarıyla test edilmesiyle de doğrulanmıştır. Geliştirilen hasarlı *CTP* kompozit boru tamir kiti böylece sahada kullanılabilir hale getirilmiştir.

KAYNAKÇA

[1] P. Suresh, R.N. Nayaka, and M.V.Manivannan, Evaluation of Physical and Mechanical Properties of Glass Fiber Reinforced Polyester Resin, Int. J. Sci. & Tech. Res. Vol. 9, Issue 03, pp. 6742-6746, March 2020.

[2] F. O. Aramide, P. O. Atanda, O. E. Olorunniwo, Mechanical Properties of a Polyester Fibre Glass Composite, Int. J. Composite Materials. Vol. 2, No 6, pp 147-151, 2012.

[3] V. V. Bhaskar and K. Srinivas, Mechanical Characterization of Glass Fiber (Woven Roving/Chopped Strand Mat E-glass Fiber) Reinforced Polyester Composites, AIP Conference Proceedings, pp. 1859, 020108, 2017.

[4] M. K. Hassan, A. F. Mohamed, K. A. Khalil, M. Y. Abdellah., Numerical and Experimental Evaluation of Mechanical and Ring Stiffness Properties of Preconditioning Underground Glass Fiber Composite Pipes, J. Composite Sci., vol. 5, pp. 264-278, 2021.

[5] DIN 53504, Determination of Tensile Stress/Strain Properties of Rubber, Deutche Norm, May 1994.

[6] D. F. Lalo and M. Greco, Rubber Bushing Hyperelastic Behavior Based On Shore Hardness and Unıaxial Extension, 24th ABCM International Congress of Mechanical Engineering December 3-8, 2017, Curitiba, PR, Brazil.