

Wollastonit Dolgulu Nr-Sbr Tipi Elastomer Esaslı Malzemenin Davranış Modelinin Belirlenmesi

¹Deniz SOYEL, ^{*2}Ahmet DEMİRER ve ^{*3}Ergun NART^C

¹ Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Ens. Makina Eğitimi Böl, Sakarya, Türkiye

^{*2} Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Böl., Sakarya, Türkiye

^{*3} Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Mekatronik Müh. Böl., Sakarya, Türkiye

Özet

Elastomerler günümüzde başta lastik endüstrisi olmak üzere, taşıtlarda, binalarda, ayakkabı, taşıyıcı bant, hortum imalatında, sağlık, uzay ve havacılık sektöründe kullanılmaktadır. Maliyeti düşürmek ve mekanik özellikleri iyileştirmek gibi çeşitli amaçlar doğrultusunda dolgu maddeleri ilave edilerek oluşturulan yeni elastomer esaslı malzemeler kullanım alanlarına göre bazı testlerden geçirilmektedir. Malzemelerin, farklı alanlarda kullanılabilmesi için malzeme karakteristiğinin belirlenmesi gereklidir. Bu nedenle simülasyon tekniklerinden yararlanılmaktadır. Bu çalışmada, dolgu malzemesi olarak %5,15 (W1) , %9,4 (W2) ve %13,4 (W3) oranlarında wollastonit kullanılan NR-SBR tipi elastomer esaslı malzemelerinin Abaqus 6.7.1 yazılım programının kullanılmasıyla, malzeme davranış modelleri belirlenmiştir. Bu çalışma iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada, malzemelerden kesilen papyon şeklindeki numuneler tek eksenli çekme deneyine tabi tutularak elde edilen sonuçlardan, gerilme ve uzama değerleri hesaplanmıştır. İkinci aşamada ise, hesaplanan değerler sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla çözüm yapan paket programına (ABAQUS) aktarılmıştır ve malzeme sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla karakterize edilmiştir. Malzeme değerlendirme kısmında malzeme özellikleri test edilerek uygun malzeme modeli olarak Marlow seçilmiştir. Çalışmada wollastonit (W) dolgulu malzemelerin analiz ve test sonuçları karşılaştırılmıştır. Wollastonit (W) dolgulu malzeme numuneleri için hata paylarının sırasıyla yaklaşık %0,44, %0,38, %0,2 olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: NR-SBR, sonlu elemanlar metodu, elastomer, wollastonit.

1. Giriş

Elastomer esaslı kauçuk malzemeler, günümüzde başta lastik endüstrisi olmak üzere, taşıtlarda binalarda, ayakkabı, taşıyıcı bant, hortum imalatında ve sağlık sektöründe kullanılan önemli mühendislik malzemeleridir. Bu malzemelerin pahalı olması üreticileri dolgu maddeleri arayışına itmiştir. Elastomerlerde kullanılan dolgu maddeleri, malzemenin bükülebilme, kopma dayanımı ve sertlik gibi mekanik özellikleri iyileştirme yanında malzeme maliyetini azaltmaktadır. Özellikle doğal kauçuklarda yırtılma ve aşınma dayanımını artırmak için dolgu maddesi olarak ince taneli karbon siyahlarının önemli etkileri olduğu bilinmektedir [1-4].

Kauçuk türü malzemelerin mekanik davranışlarının modellenmesi, katkı maddeleri ve üretim yöntemlerine bağlı olarak fiziksel özelliklerindeki çeşitlilik, mekanik davranış modelinin kurulması ve doğruluğunu test etmek için birden fazla çeşitli deneyler yapılması, kauçuğun

viskoelastik bir malzeme olması gerçekçi modelin kurulmasında önemli bir sorun oluşturmaktadır

NR-SBR tipi elastomer esaslı ayakkabı taban malzemelerine katılan wollastonit dolgu maddesi % 5,15 , % 9,4 ve %13,4 oranlarında kullanıldığında mekanik özellikleri olumlu yönde etkilemektedir [5].

Karbon siyahı katılmış ve vulkanize edilmiş otomobil lastiğinin çeşitli kısımlarından alınan numuneler analiz edildiğinde, malzeme modeli Mooney-Rivlin, Signiorini, İkinci Dereceden İnvariant, Üçüncü Dereceden Deformasyon, Yeoh ve Üç Terimli Mooney-Rivlin modellerine benzer olduğu gözlemlenmiştir [6]. Bizim çalışmamızda ise kauçuk türü malzemelerimiz tek eksenli çekme deneyine tabi tutulmuştur. Elde edilen test verileri sonlu elemanlar yöntemini kullanan paket programına girilip malzeme analizleri tamamlanmıştır. Bunun sonucunda Marlow modeli uygun olan form olarak belirlenip, analiz sonuçlarında reaksiyon kuvvetleri, gerilme, birim şekil değiştirme gibi değerler elde edilmiştir. Vahapoğlu'nun yapmış olduğu çalışmada [6] bizim çalışmamızda olduğu gibi, analiz sonucu elde edilen değerler gerçek deney sonuçlarıyla karşılaştırılmış, kuvvet-uzama, gerilme-birim şekil değiştirme grafikleri elde edilmiş ve sonuçların gerçeğe ne oranda yakın olduğu tespit edilmiştir. Vahapoğlu'nun çalışmasında [6], malzeme katsayılarının doğruluğu regresyon analizinde hesaplanan, eğrinin iyilik derecesini ifade eden R^2 terimiyle belirlenmiştir. Bu terimin 1'e yakın olması derecesinde test verileri ve analiz verilerinin uyumluluğunun arttığı söylenmektedir. Neo-Hooke malzeme modeli hariç diğer malzeme modellerinin 0,99 ile 0,96 arasında R^2 değerleri elde edilmiştir.

Bu çalışmada NR-SBR malzemesine %5,17 , %9,4 ve %13,4 oranlarında wollastonit dolgu maddesi ilave edilerek elastomer karışımlar oluşturulmuştur. Oluşturulan kompozit malzemeler çekme deneylerine tabi tutulmuştur. Elde edilen verilerle sonlu elemanlar yöntemiyle çözüm yapan ABAQUS 6.7.1 yazılım programı kullanılarak, malzemeler karakterize edilmiştir. Yedi farklı malzeme modeli içinden uygun olarak Marlow modeli seçilmiştir. Model seçiminden sonra numune analiz edilmiş, elde edilen test ve analiz verileri grafiklere dönüştürülüp sonuçlar kısmında karşılaştırılmıştır. Wollastonit dolgulu malzemelerde analiz sonucunda hata paylarının sırasıyla yaklaşık %0,44, %0,38, %0,2 olduğu tespit edilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

NR-SBR kauçuk karışımı kompozit bir malzemedir. Doğal Kauçuk (NR RSS3) ile Stiren Butadien Kauçuğuna (SBR 1502) katkı maddeleri belirtilen oranlarda katılarak karışım hazırlanmıştır. Aynı formülasyona %5,15 , %9,4 ve %13,4 oranlarında yani 250g, 500g ve 750g wollastonit dolgu maddeleri ilave edilerek elastomer karışımları elde edilmiştir. Tablo

1’de deneysel çalışmalarda kullanılan donanım ve yazılımlar, bunlara ait teknik özellikler verilmiştir.

Tablo 1 Deneylerde kullanılan ekipmanların teknik özellikleri [5]

Kullanılan Malzeme, Makina ve Programlar	Ticari Adı ve Teknik özellikleri
NR (Doğal Kauçuk)	NR RSS 3 Yoğunluğu : 0,93 g/cm ³
SBR (Stiren Butadien Kauçuk)	SBR 1502 Yoğunluğu : 0,94 g/cm ³
Wollastonit Dolgu Maddesi	FW 325 Yoğunluğu : 2,94 g/cm ³ Partikül Büyüklüğü : 75 µm
Karbon Siyahı Dolgu Maddesi	HAF N330 Yoğunluğu : 1,7 g/cm ³
Çekme Cihazı	PCX serisi Testometric micro 350 Yük birimi : kgf Çekme hızı : 10 mm/sn.
Sonlu Elemanlar Analiz Programı (ABAQUS 6.7)	Uzmanlık Alanı : Structural (Yapısal) Analiz

Tablo 2 Formülasyondaki kauçuk ve dolgu maddesi oranı [5]

%	NR	SBR	NR-SBI	Wollast onit	<i>Diğer Dolgu Toplamı</i>
Wollaston it 250 g (W 1)	11, 2	33, 4	44,6	5,15	50,25
Wollaston	10, 2	31, 9	42,1	9,4	48,5

it 500 g					
(W 2)					
Wollaston					
it 750 g	10,	30,	40,6	13,4	46
	2	4			
(W 3)					

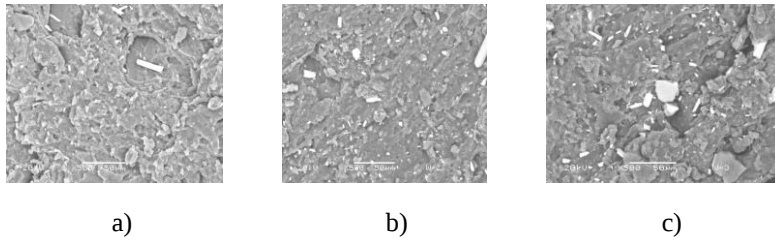
Tablo 2’de ise çalışmada kullanılan malzemelerin formülasyon içerik ve oranları gösterilmiştir. Karışımda kullanılan Wollastonit, plastik ve kauçuk sanayisinde yarı mukavim katkı maddesidir. Yüksek ısıya dayanım, yüksek mekanik direnç ve iyi izolasyon kabiliyeti gibi özelliklere sahip bir kalsiyum silikat (CaSiO_3) mineralidir.

Wollastonit ısı ile sertleşen, nemsiz emici, astara ve yine ısı ile yumuşayan kalıba şekil vermeyi şiddetlendirici özelliği, ısı kararlılığı, elektrik direnci, kimyasal direnç ve mekanik özellik artırıcılığı nedeniyle plastiklerde kullanılmaktadır.

NR-SBR tipi elastomer malzemeler içerisine dolgu olarak katılan, rengi beyaz, kurşini ya da kahverengi olabilen wollastonit, Şekil 1’de görüldüğü gibi lifsi bir görünüme sahiptir. Şekil 2’de ise x500 büyütülmüş SEM mikro-görüntüleri görülmektedir [7, 1].



Şekil 1. Wollastonit [7]



Şekil 2. a) W1 (%5,15) , b) W2 (%9,4) ve c) W3 (%13,4) dolgulu numune yüzeylerinin x500 büyütülmüş SEM mikro-görüntüleri [5]

Kauçuk türü malzemelerin mekanik karakteristiğini belirlemek için gerçekleştirilen en yaygın deformasyon türü tek eksenli çekme deneyidir. Tek eksenli çekme deneyi hariç diğer deneyler için standartlaştırılmış numune boyutu ve çekme hızı yoktur [8].

Çekme deneylerinde kauçuk türü malzemeler için genellikle Papyon numune olarak adlandırılan numune kullanılmaktadır (Şekil 3) [8].

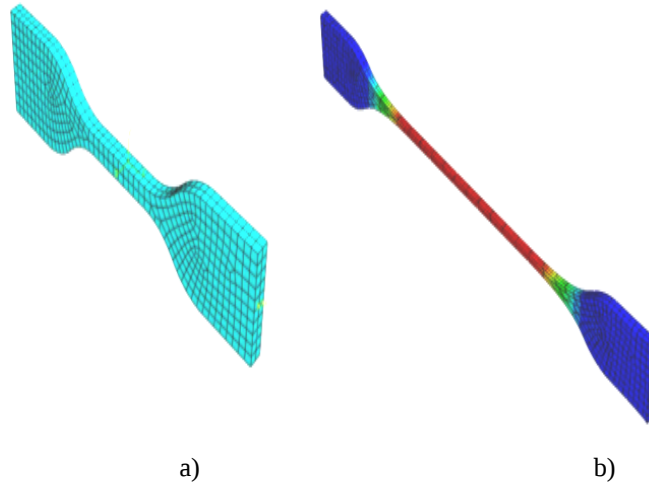


Şekil 3. Çekilmiş TS 1398-2 standart test numuneleri

TS 1398-2, ISO 527-2 standartlarına göre papyon şeklinde hazırlanmış çekme numuneleri 20°C oda sıcaklığında 10 mm/s hızda çekme deneyine tabi tutulmuştur (Şekil 3).

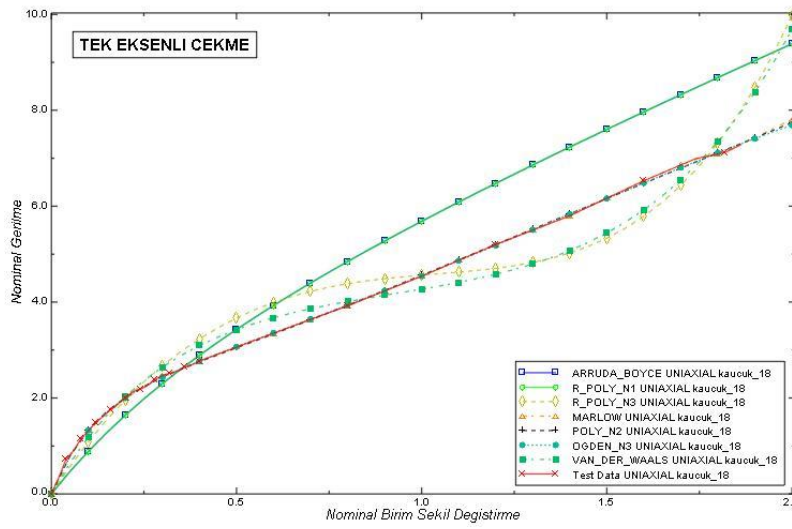
Çekme deneyi sonucu elde edilen uzama - gerilme grafiklerinden, gerçek gerilme, gerçek birim şekil değiştirme, nominal gerilme ve birim şekil değiştirme, yüzde uzama değerleri hesaplanmış ve bu değerler Abaqus 6.7.1. analiz programında malzeme karakteristiklerini bulmak için kullanılmıştır. Sonunda uygun hiperelastik malzeme modeli seçilmiştir.

Programın ilk aşamasında numune birebir modellenmiş ve uygun sayıda bölüntüleme yapılmıştır (Şekil 4.a). Yeni malzemenin özelliklerine uygun formlar içinden en uygun olanını seçmek için deneysel veriler ile formlar test edilmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarına göre Von-mises gerilme dağılımı Şekil 4. b’de görüldüğü gibidir.



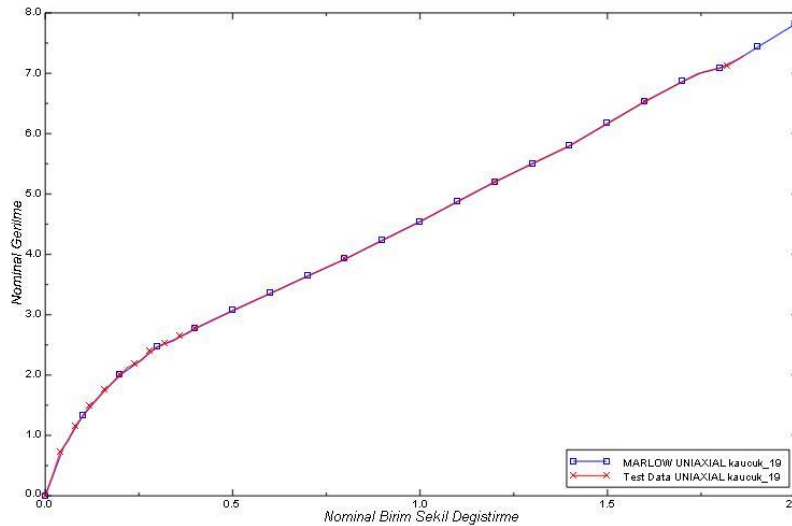
Şekil 4. a) Numunenin bölüntülenmesi, b) Numunenin simülasyonu [1]

3. Deney Sonuçları ve Tartışma

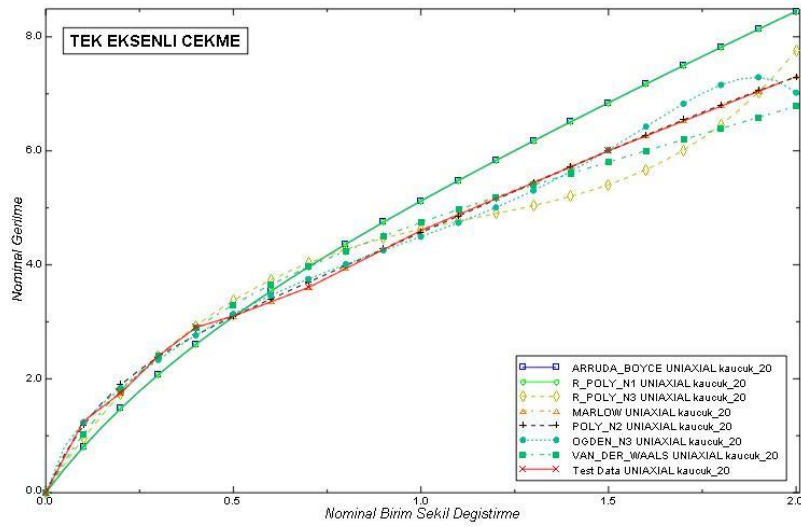


Şekil 5. W % 5,17 malzemesi için tüm formların değerlendirme sonuç grafiği [1]

Yukarıda Şekil 5'te, W %5,17 malzemesinin tüm formlar için değerlendirme sonuçları görülmektedir. Şekilde test verilerinin yanında tüm hiperelastik malzemelerin yük altındaki davranışı görülmektedir. Van Der Waals, üçüncü dereceden Reduced Polynomial (Yeoh), İkinci dereceden polynomial ve Arruda Boyce modellerinin gerçek davranıştan belirgin bir şekilde saptığı görülmektedir. Birinci dereceden Reduced Polynomial (Neo Hooke), üçüncü dereceden Ogden ve Marlow modellerinin test verileri ile örtüştüğü görülebilir. Bu örtüşen formlardan birinci dereceden Reduced Polynomial (Neo Hooke) ve üçüncü dereceden Ogden belirli birim şekil değiştirme değerleri arasında kararlıdır. Bunların arasından sadece Marlow formu tüm birim şekil değişiklikleri için kararlı bir yapıya sahiptir. Marlow formu ile test verileri arasındaki ilişki aşağıdaki grafikte açık bir şekilde gösterilmektedir (Şekil 6).

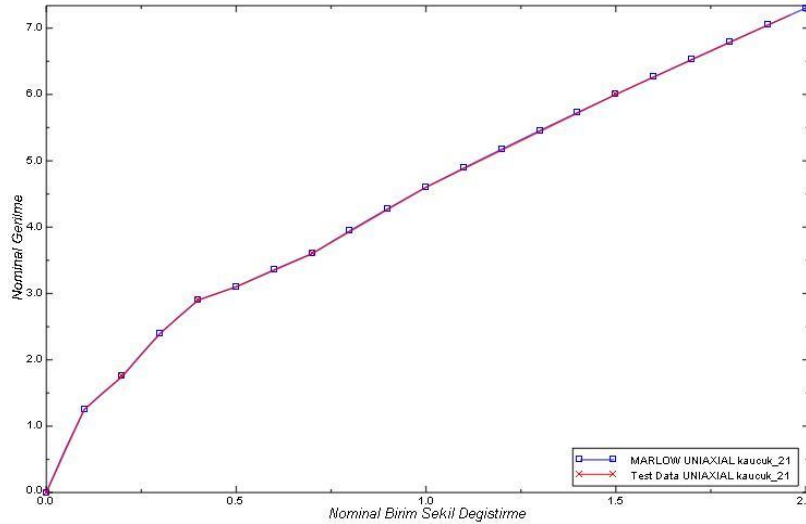


Şekil 6. W %5,17 malzemesi için Marlow formu ile test verilerinin karşılaştırılması [1]



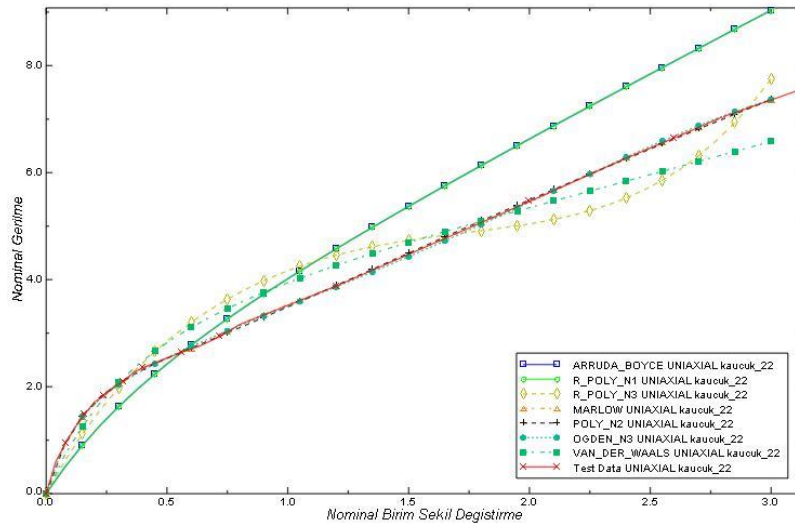
Şekil 7. W %9,14 malzemesi için tüm formların değerlendirme sonuç grafiği [1]

Yukarıda Şekil 7’de, W %9,14 malzemesinin tüm formlar için değerlendirme sonuçları görülmektedir. Üçüncü ve birinci dereceden Reduced Polynomial (R_Poly), Van Der Waals ve Arruda Boyce modelleri gerçek davranıştan belirgin bir şekilde sapmaktadır. İkinci dereceden Polynomial, W %5,17 ile benzer şekilde üçüncü dereceden Ogden ve Marlow modellerinin test verileri ile örtüştüğü görülebilir. Kararlı tek model olan Marlow formu test verileri ile karşılaştırıldığı da aşağıdaki grafik elde edilmiştir (Şekil 8).



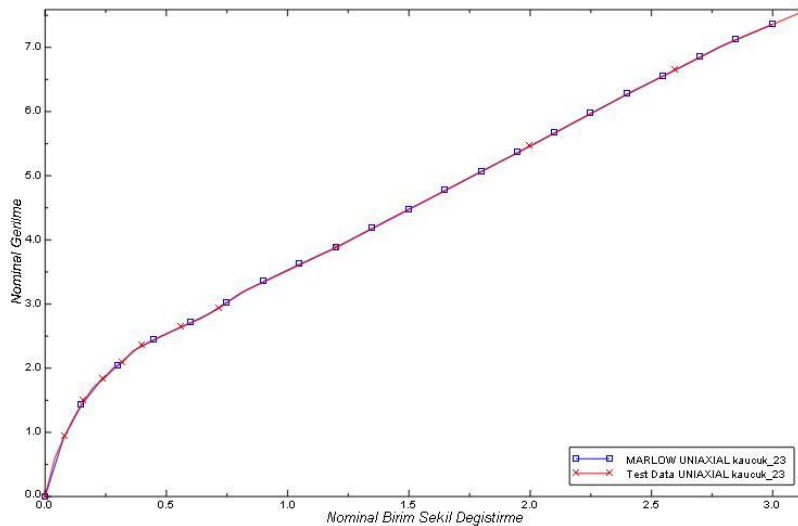
Şekil 8. W %9,4 malzemesi için Marlow formu ile test verilerinin karşılaştırılması [1]

Kararlı tek model olan Marlow formu test verileri ile karşılaştırıldığında yukarıdaki grafik elde edilmiştir (Şekil 8).



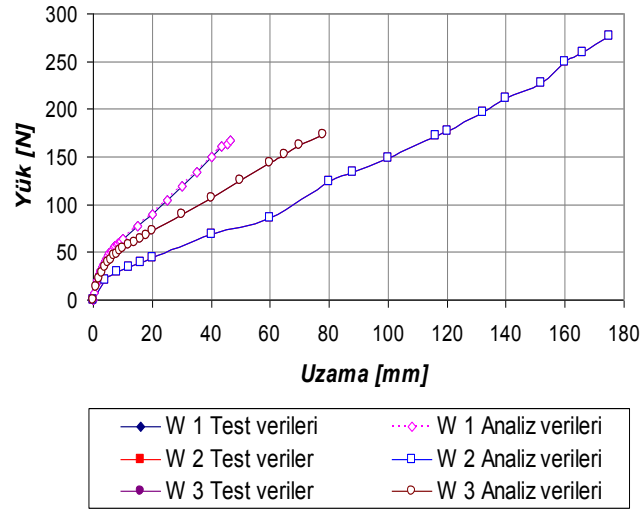
Şekil 9. W % 13,4 malzemesi için tüm formların değerlendirme sonuç grafiği [1]

Şekil 9’da ise, W %13,4 malzemesinin tüm formlar için değerlendirme sonuçları görülmektedir. Üçüncü dereceden Reduced Polynomial (R_Poly), Van Der Waals ve Arruda Boyce modellerinin gerçek davranıştan belirgin bir şekilde sapması gözlenirken, ikinci dereceden Polynomial, üçüncü dereceden Ogden, birinci dereceden Reduced Polynomial (R_Poly) ve Marlow modellerinin test verileri ile örtüştüğü görülmektedir. Kararlı tek model olan Marlow formu test verileri ile karşılaştırıldığında aşağıdaki grafik elde edilmiştir (Şekil 10).



Şekil 10. W %13,4 malzemesi için tüm formların değerlendirme sonuç grafiği [1]

Wollastonit dolgulu NR-SBR tipi elastomer esaslı kompozit malzemenin çekme test verileri ile Marlow formu analiz verilerindeki yük – uzama grafikleri karşılaştırılmış ve hata paylarının yaklaşık olarak sırasıyla %0,44, %0,38 ve %0,2 olduğu görülmüştür (Şekil11).



Şekil 11. W %5,17, W %9,4 ve W %13,4 malzemelerinin çekme test verileriyle analiz verilerindeki Yük–Uzama grafiklerinin karşılaştırılması [1]

Eğrilere bakıldığında, en yüksek uzama değeri, %9.4 wollastonit dolgulu W2 malzemesinde görülmektedir.

4. Sonuçlar

Çekme testlerinden elde edilen veriler ile hesaplanan nominal birim şekil değiştirme ve nominal gerilme değerleri, sonlu elemanlar metoduyla çözüm yapan paket programında birebir modellenmiş olan çekme numune modeline atanmıştır. Bu model, malzeme testi kısmında bütün formlar için test edilmiştir ve çeşitli katsayılar elde edilmiştir. Yapılan malzeme testleri sonucunda Marlow formunun, hacimsel çekme, hacimsel basma, tek eksenli çekme, tek eksenli basma, eş iki eksenli çekme, eş iki eksenli basma, düzlemsel çekme, düzlemsel basmada bütün birim şekil değiştirme değerleri için, sınırlama olmaksızın kararlı olduğu görülmüştür. Malzememize en uygun form olarak Marlow formu seçilmiştir.

Yapılan çekme deneyi ve analizler sonucunda elde edilen veriler Excel’de grafikler haline dönüştürülmüştür. Böylece test verileriyle analiz verileri karşılaştırılarak, sonlu elemanlar metoduyla çözüm yapan analiz programından elde edilen verilerin gerçeğe ne oranda yakın olduğu bulunmuştur.

Wollastonit dolgulu NR-SBR tipi elastomer esaslı kompozit malzemenin çekme testi verileri ile Marlow formu analiz verilerindeki Yük–Uzama eğrileri karşılaştırılmış ve en yüksek uzama değeri %9.4 ile wollastonit dolgulu W2 malzemesinde görülmüştür. Deneysel çalışmalarda dolgu olarak kullanılan wollastonit malzemesi mineral özellikte olduğundan sertleştiricilere benzer özellik taşımaktadır. Dolgu miktarı belli bir orandan sonra arttıkça malzeme kopma eğilimi gösterirken yırtılma dayanımı oldukça artmaktadır [5].

W1 (%5,17), W2 (%9,4) ve W3 (%13,4) malzemelerinin analiz veri sayıları sırasıyla 30, 19 ve 23 tür. Üç boyutlu gerilme analizi uygulanmıştır. W malzemelerinde bölüntü sayısı 748, eleman türü Hex C3D20H (A20-node quadratic brick, hybrid, linear pressure).

NR-SBR tipi elastomer esaslı malzemenin farklı miktarda dolgu içerikli türlerinin çekme deneyine tabi tutularak elde edilen sonuçları, sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla karakterize edilmiştir. Bu analizlerin doğruluğu büyük ölçüde sonlu elemanlar paket programına girilen geometrik ve malzeme özellikleri ve yükleme durumunun gerçekçiliğine bağlı olmaktadır.

Yapılan çalışmanın ilk aşamasında NR ve SBR kauçuk karışımı kompozit bir malzeme olan NR-SBR' den, aynı formülasyona %5,15 , %9,4 ve %13,4 oranlarında yani 250g, 500g ve 750g wollastonit dolgu malzemesi ilave edilerek elastomer karışımları elde edilmiştir. Oluşturulan bu karışımlardan, TS 1398-2 ye göre çekme deneyi için papyon şeklinde numuneler hazırlanmıştır.

İkinci aşamada numuneler tek eksenli çekme deneyine tabi tutulmuştur. Deneylerde her bir numunenin, uygulanan kuvvet altındaki uzaması ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar grafiklere aktarılarak karşılaştırılmıştır. Çekme değerleri Akçakale [5] nin bulduğu sonuçlar ile paralellik arz etmektedir.

Üçüncü aşamada çekme sonucunda elde edilen veriler ile gerilme ve uzama değerleri hesaplanmıştır. Abaqus'te numune modellendikten sonra, malzemenin tanımlanması için hesaplanan bu değerler kullanılmıştır. Girilen değerler ile model, ikinci dereceden Polynomial, üçüncü dereceden Ogden, birinci dereceden Reduced Polynomial (Neo-Hooke), üçüncü dereceden Reduced Polynomial (Yeoh), Arruda Boyce, Van Der Waals ve Marlow malzeme formlarındaki katsayıları elde etmek için teste tabi tutulmuştur. Her bir numune için elde edilen malzeme modellerine ait Gerilme (σ_n), Birim şekil değiştirme (e), Yük (F)-Uzama (L) grafikleri çizilerek, test verileri ile analiz programından elde edilen analiz verileri karşılaştırılmıştır.

Yedi farklı malzeme formunun ele alındığı bu çalışmada, malzemelerimizin test verileri ile örtüşen formlar birinci ve ikinci dereceden Polynomial, üçüncü dereceden Ogden ve Marlow malzeme modelidir. Diğer formlarda ise bazı sınırlamalar söz konusu olmuştur. Malzememiz için uygun olan formlar arasından, kararlı tek form olan Marlow formu en uygun model seçilmiştir. Yapılan çalışmada Wollastonit (W) dolgulu malzemelerin analizi sonucunda hata paylarının yaklaşık %0,44, %0,38, %0,2 olduğu tespit edilmiştir [1].

4.1. Öneriler

- 1) Çalışmamızda numuneler yalnızca tek eksenli çekme deneyine tabi tutulmuştur. Sonraki çalışmalarda eş iki eksenli, düzlemsel ve hacimsel çekme ve basma deneyleri yapılarak malzeme karakteristiği daha geniş olarak incelenebilir.

- 2) Malzeme numuneleri, farklı mekanik deneylere tabi tutularak daha fazla veri elde edilebilir ve deney sonuçları analiz programı yardımıyla karşılaştırılarak tespit edilen malzeme katsayılarının doğruluğu olumlu yönde etkilenir.
- 3) Yapılan çalışmalar oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Farklı sıcaklıklarda çalışmalar yapılarak kauçuk türü malzemelerin davranışı incelenebilir. Bu özellikle kauçuk türü malzemelerin farklı sıcaklıklarda çalışma şartlarına uygun tasarım analizleri için önemlidir.

5. Teşekkür

Deneyisel çalışmalarda bize yardımcı olan Federal Elektrik Yatırım ve Ticaret A.Ş.'ye teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynaklar

- [1] Soyel, D., Sonlu elemanlar metodu ile NR/SBR tipi elastomer esaslı malzemelerin davranış modellerinin belirlenmesi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, 2008.
- [2] Savaşçı, Ö., T., Uyanık, N., Akovalı, G., Plastikler ve plastik teknolojisi, Cantay Kitapevi, İstanbul, 1998.
- [3] Savran, Ö., H., Elastomer teknolojisi 1, Kauçuk Derneği Yayınları, İstanbul, 2001.
- [4] Savran, Ö., H., Elastomer teknolojisi 2 Temel elastomerler, Kauçuk Derneği Yayınları, İstanbul, 2001.
- [5] Akçakale, N., NR/SBR tipi elastomer esaslı ayakkabı taban malzemelerinin mekaniksel özelliklerine bazı dolgu maddelerinin etkilerinin incelenmesi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Sakarya, 2008.
- [6] Vahapoğlu, V., Kauçuk türü malzemelerin malzeme sabitlerinin eş-iki eksenli çekme deneyi ile belirlenmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, 1998.
- [7] <http://www.maden.org.tr>, Nisan, 2008.
- [8] Vahapoğlu, V., Kauçuk Türü Malzemelerin İnelastik Özelliklerinin Deneyisel Olarak İncelenmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon, 2006.