

Odun plastik kompozitlerin gerilme-gevşeme davranışlarının incelenmesi

Vedat Çavuş^{a,*}, Fatih Mengeloğlu^b

Özet: Bu çalışmada, iki farklı tür ve oranda; dolgu maddesi kullanılarak üretilen odun plastik kompozitlerin gerilme-gevşeme davranışlarının belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla %10 ve 20 oranında polimer matris içerisine magnezyumoksisulfat, lignoselülozik dolgu maddesi (*Pinus brutia* Ten.) Maleik Anhidrit Grafted Polipropilen (MAPP) ve vaks %3-oranında karıştırılmış; ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama yöntemi kullanılarak test örnekleri üretilmiştir. Odun plastik kompozitlerin, çekmede gerilme-gevşeme davranışını belirlemek amacıyla ASTM D 638 (2004) standardına belirtilen esaslar dikkate alınarak Kompozit üretim reçetesindeki oranlara uygun olarak test örnekleri hazırlanmıştır. Test örnekleri; 600 Newton kuvvet, çekme hızı 5mm/dakika ve 2 saatlik çekmede gerilme-gevşeme davranışları belirlenmiştir. Denemeler oda şartlarında (yaklaşık 20°C sıcaklık ve %55 bağıl nem) gerçekleştirilmiş ve test yapılan odanın sıcaklığı klima ile ayarlanmıştır. Test sonuçlarından elde edilen verilere göre; gerilme-gevşeme değerlerinde dolgu maddesi türü ve oranının etkisinin önemli olduğu tespit edilmiştir. Lignoselülozik ve sentetik dolgu maddesi oranı ve türünün test örneklerinin gerilme-gevşeme değerlerinde etkili olduğu ve dolgu maddesi katılım oranının artmasına bağlı olarak gerilme-gevşeme değerlerini açık bir şekilde düşürdüğü tespit edilmiştir. Dolgu maddesi katılımı ile polimer zincirleri arasında mekanik etkilere bağlı olarak gerçekleşen hareket kabiliyetinde azalma meydana gelerek gerilmesinin zaman içerisinde azaldığı ve dolgu miktarının artması durumunda gerilme-gevşeme oranında azalmanın arttığı tespit edilmiştir. Gerilme-gevşeme davranışının önemli olduğu uygulamalarda dolgu maddesi oranının dikkate alınarak uygulamanın planlanması önemlidir.

Anahtar kelimeler: Odun plastik kompozit, Gerilme-gevşeme, Kızılcım, Magnezyumoksisulfat

Investigation of stress-relaxation behaviors of wood plastic composites

Abstract: In this study, it was aimed to determine the stress and relaxation behavior of wood plastic composites produced by using magnesiumoxysulphate and lignocellulosic filler. For this purpose, test specimens were produced by using 10% and 20% magnesiumoxysulfate, lignocellulosic filler (*Pinus brutia* Ten.), 3% wax and maleic anhydride grafted polypropylene (MAPP) into the polymer matrix. Extrusion and injection molding methods were used in the manufacturing of test specimens. In order to determine the stress relaxation behavior of wood plastic composites in tensile, a total of 15 test samples, 3 for each variable parameter of each production code, were prepared in depend on the ASTM D 638 (2004) standard. The stress-relaxation behaviors of test samples were determined at 600 Newton force, tensile speed of 5mm/min and tensile for 2 hours. The experiments were carried out in room conditions and the temperature of the room where the experiment was conducted was adjusted with air conditioning. According to the test results; It has been determined that the ratio and type of filler materials have a significant effect on the stress relaxation values. It has been determined that the Synthetic and lignocellulosic filler participation rates are effective on the stress relaxation values of the test samples and the stress relaxation values decrease significantly as the participation rate increases. It has been determined that the filler ratio reduces the mobility of the polymer chains between them, this delays the relaxation and as the amount of filler increases, the relaxation decreases. In applications where stress relaxation behaviour it is important, specific care should be paid on the selection of filler amount.

Keywords: Wood plastic composite, Stress-relaxation, Red pine, Magnesiumoxysulphate

1. Giriş

Odun plastik kompozitler (OPK) terimi, un veya lif formundaki lignoselülozik dolgu malzemeleri (LDM), termoset ya da termoplastikleri içeren kompozitlerin ifade etmektedir (Clemons, 2002). Bir diğer deyişle, OPK; LDM, plastik malzeme ve katkı maddelerinin birbiriyle uygun şartlarda karıştırılarak üretilen kompozitlerin genel bir isimlendirilmesidir (Matuana ve Heiden, 2004). Burada kullanılan odun kelimesi, odunsu materyal ve aynı zamanda lifsel yapı barındıran bütün tarımsal atıkları içerisine almaktadır. Bu odunsu malzemeler, lif veya un formu verilmiş olarak üretimde kullanılmaktadır (Kaymakçı, 2015;

Çavuş ve Mengeloğlu, 2016; Çavuş ve Mengeloğlu, 2020). OPK'ler; termoplastik polimerlerin üretimleri ile aynı teknikler kullanılarak üretilmektedir (Hietala, 2013). OPK üretiminde LDM (yoğunlukları 1,3–1,4 g/cm³) kullanılması, aşınma ve ağırlık direnci gibi özellikleri açısından inorganik dolgu (cam lifleri 2,5 g/cm³, kalsiyum karbonat 2,9 2g/cm³) maddelerine göre birçok avantaj sağlama ve bu malzemeleri özellikle ambalaj ve otomotiv sektöründe avantajlı bir duruma getirmektedir (English ve Falk,1995). Mineral dolgu maddeleri hem inorganik hem de organik olarak iki grupta incelenebilir. İnorganik dolgu maddeleri geleneksel olarak plastik malzemeye dolgu olarak katılmasının yanı sıra bunlarla birlikte organik dolgu maddeleri de katılmaktadır.

✉ ^a İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

^b Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

@ ^{*} **Corresponding author** (İletişim yazarı): vedatcavus@gmail.com

✓ **Received** (Geliş tarihi): 01.07.2022, **Accepted** (Kabul tarihi): 05.10.2022



Citation (Atf): Çavuş, V., Mengeloğlu, F., 2022. Odun plastik kompozitlerin gerilme-gevşeme davranışlarının incelenmesi. Turkish Journal of Forestry, 23(4): 299-304. DOI: [10.18182/tjf.1139030](https://doi.org/10.18182/tjf.1139030)

Kaolin, talk, wollastonit, kalsit, mika, inorganik dolgu maddeleri olarak sıralanabilir. Bunlar içerisinde en çok kullanılanları talk (magnezyum silikat) ve kalsiyum karbonattır (kalsit veya CaCO_3) (Marisa vd., 2005). Dolgu maddelerinin yapı içerisindeki etkisi tanecik boyutu, şekli ve tanecik dağılımı gibi etkilere bağlıdır. Mineral dolgu maddeleri: küp, küre, blok, lif ve yonga gibi tanecik biçiminde bulunabilir (Leong vd., 2004).

Kızılçam (*Pinus brutia* Ten.), kuzey yarımkürenin 32-45. kuzey enlem dereceleri ile 15-45. doğu boylamları arasında kalan bir bölgesinde doğal olarak yayılım göstermektedir. Dünya üzerinde en geniş yayılışını Anadolu'da özellikle de Akdeniz Çukurunun doğusunda yapmasından dolayı Türk Kızılçamı olarak da bilinmektedir (Neyişçi, 2001). Türkiye'de yayılış gösteren çam türleri arasında Kızılçam odunu en fazla özgül ağırlığa (tam kuru ağırlık $0,53 \text{ g/cm}^3$, hacim yoğunluk 478 kg/m^3 ve %12 rutubette hava kuru ağırlık $0,57 \text{ g/cm}^3$) sahip olanıdır (Erten ve Önal, 1987).

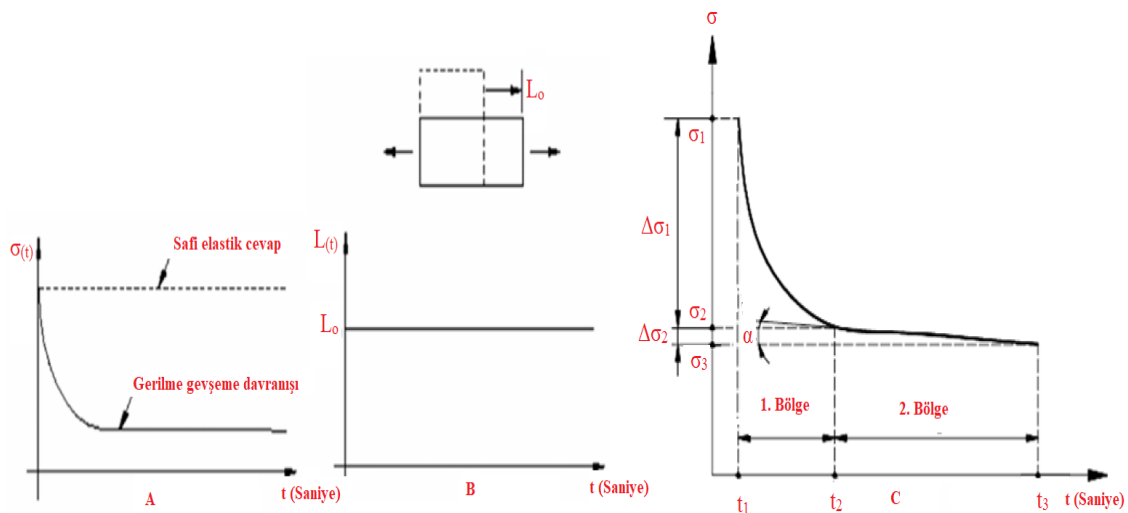
Sentetik dolgu maddesi (SDM) olarak kullanılan HPR-803I (Magnezyum Oksisulfat) lifli bir katkı maddesi olup tehlikeli madde sınıfına girmeyen, toksisite içermeyen (çözünürlük sınırında), insan ve çevre sağlığına zararlı olmayan bir malzeme olup %0,1 veya daha yüksek seviyelerde ya çok kalıcı ve çok biyoakümülatif ya da kalıcı, biyoakümülatif ve toksik bileşenlere sahip bir malzemedir.

Yapılan bir tez çalışmasında SDM ve LDM katılımlarının artmasına paralel olarak eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modulu, çekmede elastikiyet modulu, sertlik ve darbe direnci gibi mekanik özelliklerde artışa neden olduğu ancak, hem SDM hem de LDM oranının kopmada uzama miktarını azalttığı, çekme direncini SDM'nin arttırdığı LDM'nin azalttığı ve doğrusal yanma hızının SDM katılımları ile düştüğü buna karşın odun unu oranının artmasına paralel olarak yanma hızının arttığı tespit edilmiştir (Çavuş, 2017).

Gerilme-gevşeme davranışı; sabit boyda germe halinde tutulan malzemede zamanla bağlı olarak ortaya çıkan gerilme azalmasıdır. Gerilme-gevşeme testinde; test örneği belirli bir hızda ve belirli bir şekil değişimine kadar çekilir. Test örneğine verilen bu deformasyon değerinde numunede gerilme maksimum noktadır. Test örneği sabit deformasyon

altında belirlenen zaman kadar bekletilirken bu sırada numunedeki gerilme zamanla azalır. Gerilme-gevşeme aynı zamanda sürünme şartları altında bulunan sabit şekil değişiminde ortaya çıkan gerilme azalmasıdır. Gerilme-gevşeme meydana geldiğinde, gerilme sabit bir şekil değişimi sağlamak için zamanın fonksiyonu olarak azalır (Mazlum, 2008). Gerilme-gevşeme testi aralıklı ve sürekli ölçüm olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Sürekli ölçüm tekniğinde, örnek belli bir deformasyona kadar deforme edilerek o deformasyona bağlı olarak gerilme-zaman davranışı tespit edilir. Aralıklı ölçüm olarak adlandırılan sistemde ise numune periyodik olarak belirli aralıklarla istenilen deformasyona kadar deforme edilerek gerilme-gevşeme davranışı ölçülmektedir (Vahapoğlu, 2006; Mazlum, 2008; Çavuş, 2017). Gerilme-gevşeme testinde deformasyona uğramış ve en yüksek gerilme değerine ulaşmış olan örnekte zamanla gerilmedeki düşüş izlenmektedir (Şekil 1 A-B-C).

Şekil 1'de, sabit uzama nispetine göre gerilme-zaman verileri gösterilmiştir. Buna göre, gerilmenin en yüksek olduğu σ_1 değeri t_1 zamanını; t_2 ise 2 saat sonraki zamanı, σ_2 eksponansiyelliğin sona erip lineerliğin başladığı noktada olan gerilme değerini belirtmektedir. Burada σ_1 en yüksek gerilme değerinden σ_2 gerilmesine kadar t_1-t_2 zaman dilimi süresince düşen bu grafiğin altındaki bölge, 1. bölge olarak ifade edilir. Ayrıca, σ_3 gerilmesi t_3 zaman dilimi sonunda elde edilen en düşük gerilme değerini ifade etmektedir. Şekil 1'de gösterildiği üzere σ_2 'den σ_3 gerilmesine kadar t_2-t_3 zaman aralıkları arasında lineer bir azalma meydana gelmektedir. Azalan bu lineer eğrinin altında kalan alan 2. bölgedir. Yaklaşık lineerliğin olduğu bölgedeki eğrinin yatayla yaptığı açı değeri α olarak ifade edilmektedir. Eğrinin σ_1 'den σ_2 gerilme değerine düşmesi sonucu, $(\Delta\sigma_1)$ gerilme düşüşü değeri elde edilir. Elde edilen bu değer ani düşüşten dolayı büyüktür. 2. bölgede yani σ_2 'den σ_3 en düşük gerilme değerine kadar düşüş ise, $(\Delta\sigma_2)$ gerilme düşüşü değeri olarak ifade edilmektedir (Mazlum, 2008). Bu çalışmada; LDM ve SDM dolgu maddeleri farklı oranlarda (%0, 10 ve 20) polipropilen içerisine katılarak üretilen OPK test örneklerinin sürekli ölçüm tekniği ile gerilme-gevşeme davranışları incelenmiştir.



Şekil 1. Gerilme-gevşeme (A, B) ve gerilme-zaman tanımlamaları (C), t_1 : gerilmenin en yüksek olduğu σ_1 değeri zamanı; t_2 : 2 saat sonraki zaman, σ_2 eksponansiyelliğin sona erip lineerliğin başladığı noktada olan gerilme değeri, σ_3 : t_3 zaman dilimi sonunda elde edilen en düşük gerilme değeri

2. Materyal ve yöntem

Bu çalışmada; LDM olarak Kızıl çam odunu (*Pinus brutia* Ten) (yoğunluk 0,93 g/cm³) parafin vaks 0,91g/cm³ yoğunlukta MAPP, 0,905 g/cm³ yoğunluğa sahip Polipropilen (Erime noktası:163°C; erime akış indeksi 4,5 g/10 min.) kullanılmıştır. SDM olarak 0,98 g/cm³ yoğunluğa sahip HPR-803I (lif boyu: 10-30 mikron, lif çapı: 0,5-1,2 mikron) test örneklerinin üretiminde kullanılmıştır.

2.1. Kompozitlerin üretimi

Değirmen yardımıyla un haline getirilen kızılçam odunu sarsak elekten yardımıyla sınıflandırılmış ve 40 mesh'ten geçip 60 mesh'in üzerinde kalan kızılçam odunları alınarak kullanılmıştır. Odun unu rutubet miktarı %1 oluncaya kadar 103±2 °C sıcaklıkta etüvde bekletilmiştir. Kurutulmuş LDM üretim reçetesine göre polipropilen, MAPP, vaks ve SDM karıştırılmıştır. Test örneklerinin üretiminde hesaplamalar ağırlıkça yapılarak %0–10–20 oranında LDM ve SDM, ek olarak vaks ve MAPP %3 oranı sabit tutularak katılmıştır. Ekstruder beş kademe sıcaklığı 175'ten başlamak üzere, 180-185-190-200°C sıcaklık aralığında ve vidanın devir hızı 40 dev/dak. olacak şekilde ayar yapılmıştır. Ekstruder kafasından çıkan karışım, su içerisine düşürülerek sertleşmesi sağlanmıştır. Bu işlemin ardından kırıcı kullanılarak pellet biçimine getirilmiştir. Pelletler, 103±2 °C sıcaklıkta 24 saat süre bekletilerek rutubet miktarının %1'in altına gelmesi sağlanmıştır. Enjeksiyon kalıplama makinesi kullanılarak test örnekleri üretilmiştir. Test örnekleri %50± 5 bağıl rutubet ve 23 ± 2 °C sıcaklıkta, denge rutubet miktarı varıncaya kadar iklimlendirme kabini içinde bekletilmiştir. SDM ve LDM türü, oranının odun plastik kompozitlerin gerilme-gevşeme davranışlarına etkisinin belirlenmesi için test örneklerinin üretim reçetesi Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Kompozit üretim reçetesi

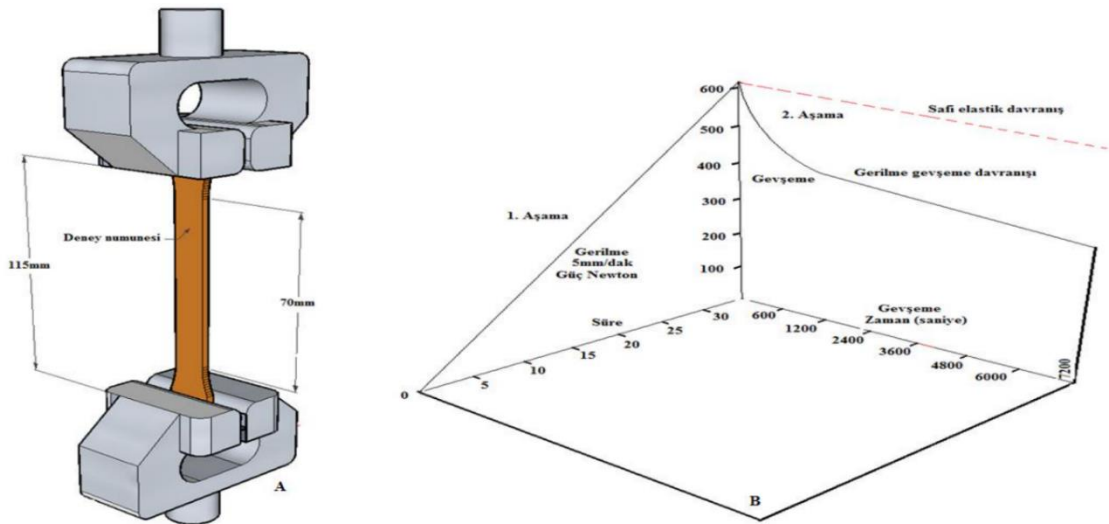
Test kodu.	PO (%)	SDMO (%)	LDMO (%)	MAPP (%)	VAKS (%)
Kontrol	94	0	0	3	3
10 SDM	84	10	0	3	3
10 KOU	84	0	10	3	3
20 SDM	74	20	0	3	3
20 KOU	74	0	20	3	3

PO: Polimer oranı, LDMO: Lignoselülozik dolgu maddesi oranı, SDMO: Sentetik dolgu maddesi oranı (%), MAPP: maleik anhidrit grafted polipropilen, ÜK: Test kodu

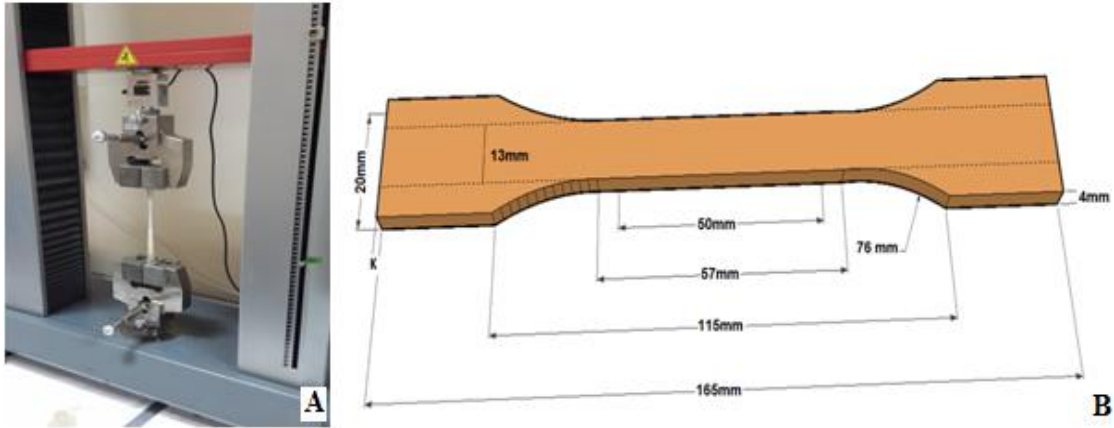
2.2. Gerilme-gevşeme davranışının belirlenmesi

Odun plastik kompozitlerin, gerilme-gevşeme davranışının belirlenmesi için ASTM D 638 (2004) standardının da belirtilen esaslar göz önünde alınarak, her bir üretim kodunun değişken parametreleri dikkate alınarak 15 adet çekme test örneği hazırlanmıştır.

Test örneklerinin boyutları teste başlanmadan mikrometre ile tespit edilmiştir. Gerilme-gevşeme Testi Zwick/Roell marka ve Z10 model tek eksenli çekme özelliği olan test makinesi kullanılarak yapılmıştır. Gerilme-gevşeme testleri sürekli tip ölçüm sistemi ile oda sıcaklığında 23±20 °C gerçekleştirilmiştir. İlk önce malzeme özellikleri, test şartları, yapılacak testin özel prosedür bilgileri bilgisayara girilerek test örneği, tutma çeneleri arasına bağlanmış ve teste hazır hale getirilmiştir. Tek eksenli test düzeneğine yerleştirilen test örnekleri, 600 Newton kuvvet, çekme hızı 5mm/dakika ve 7200 saniye boyunca, deforme edilerek test gerçekleştirilmiştir. Testin tüm aşamaları test süresince bilgisayar ekranından takip edilerek test tamamlanmıştır. Gerilme-gevşeme test örneği, testin yapılışı Şekil 2'de ve testin şematik gösterimi Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 2. Gerilme-gevşeme test örneği (A), testin Şematik gösterimi (B)



Şekil 3. Gerilme-gevşeme test örneği ölçüleri ve test cihazı

Test örneklerine ait her türlü veri Excel programına girişi yapıldıktan sonra oradan alınarak, istatistik paket (Desing Expert, 2004) programına aktarılarak istatistiksel hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Değişkenlerin etkilerini belirlenmesi için ANOVA testi yapılmıştır.

3. Bulgular ve tartışma

SDM ve LDM türü, oranı kullanılarak üretilen test örneklerinin çekmede gerilme-gevşeme davranışı belirlenmiştir. Test örneklerin gerilme-gevşeme davranışını belirlemek için test süresince ekspanansiyelliğin bitip yaklaşık lineerliğin başladığı noktaların arasındaki değerler dikkate alınmıştır. Test örneklerinden alınan gerilme-gevşeme davranışı ortalama değerler ile standart sapma değerleri Çizelge 2’de verilmiştir.

Kontrol %10SDM, %10KOU, %20SDM, %20KOU test örneklerinin uzama oranı sırasıyla 249,15, 230,23, 242,99, 232,77 ve 230,75 N/mm² olarak tespit edilmiştir. Test

örneklerinin LDM miktarı artışına paralel olarak gerilme-gevşemede uzama oranında azalma meydana geldiği tespit edilmiştir. Benzer bir şekilde SDM artışına paralel olarak gerilme-gevşeme değerlerinin de azaldığı tespit edilmiştir. Kontrol örneğinde 249,15 N/mm² olan ortalama gerilme-gevşeme değer farkı %10 SDM katılımı ile bir azalma göstermiş ve bu oranın %20 oranına çıkması ile ortalama gerilme-gevşeme değerinde küçük bir miktarda artış meydana gelmiştir. Test örneklerinde, en düşük gerilme-gevşeme ortalama azalma değer farkı ise %10SDM test örneklerinde belirlenmiştir. Test örnekleri içerisinde %10 oranında LDM katılımı gerilme-gevşeme de uzama oranını SDM’ye göre daha az düşürmüştür. Her iki dolgu maddesinin %20 oranında katılımı ise benzer değerlerde azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir. Dolgu maddesi kullanım oranı ve türünün test örneklerinin gerilme-gevşeme uzama oranına etkisini tespit etmek için ANOVA testi verileri çizelge 3’te ve gerilme-gevşeme davranışlarına etkileri Şekil 4’te gösterilmiştir.

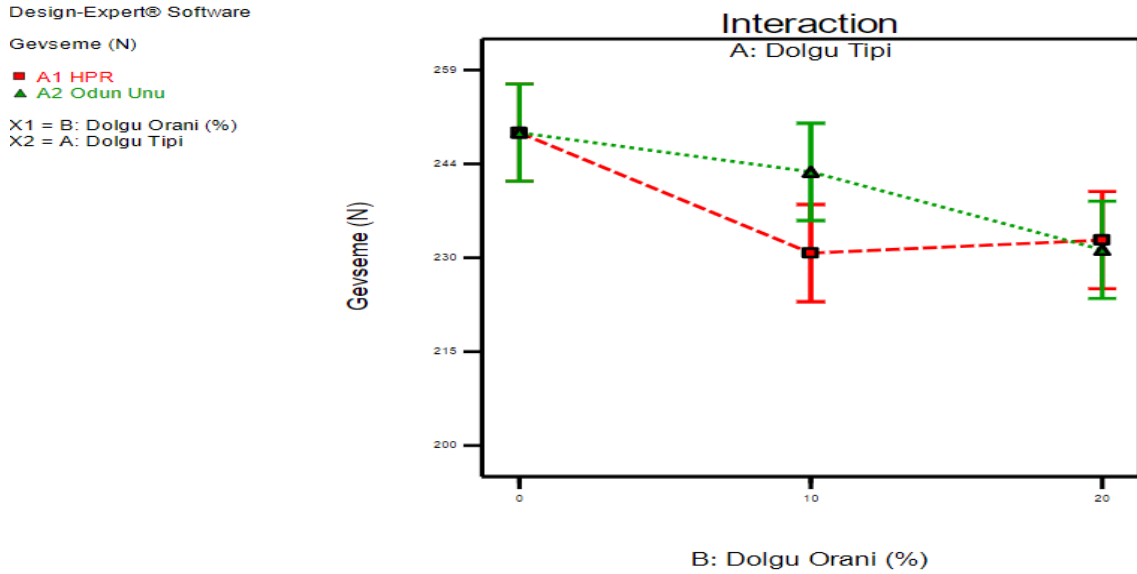
Çizelge 2. Test örneklerinin gerilme-gevşeme davranışı ortalama değerler ile standart sapma değerleri

Ü.K.	ΔF_e	$F(\Delta t_6)$	$F(\Delta t_5)$	$F(\Delta t_4)$	$F(\Delta t_3)$	$F(\Delta t_2)$	$F(\Delta t_1)$
Kontrol	249,15* (10,32)**	348,92 (10,25)	359,67 (15,63)	368,62 (12,64)	377,86 (8,82)	399,89 (9,50)	598,07 (0,08)
10 SDM	230,23 (2,67)	367,28 (2,78)	375,62 (3,03)	383,19 (6,39)	396,73 (5,98)	415,67 (6,23)	2597,50 (0,14)
10 KOU	242,99 (5,46)	354,64 (5,40)	362,69 (5,85)	372,84 (4,79)	385,86 (6,75)	405,35 (4,83)	3597,63 (0,10)
20 SDM	232,27 (7,14)	364,43 (7,12)	375,42 (6,43)	384,33 (4,28)	394,48 (3,30)	406,69 (8,89)	4596,70 (0,07)
20 KOU	230,75 (11,89)	366,65 (11,84)	375,04 (5,76)	381,45 (3,49)	384,32 (4,42)	404,42 (11,40)	5597,40 (0,05)

**standart sapma, Ü.K: üretim kodu, *ortalama değer, $F(\Delta t_1)$: ilk gerilme gevşeme değeri, $F(\Delta t_6)$: son gerilme-gevşeme değeri, ΔF : ilk ve son gerilme gevşeme değerleri arasındaki fark.

Çizelge 3. Dolgu maddesi kullanım oranı ve türünün test örneklerinin gerilme-gevşeme değerlerine ait ANOVA değerleri

Test	Kaynak	Kareler Top.	DF	Kareler Ort.	F	p-value Prob > F
Gerilme-gevşeme	Model	1236,47	5	247,29	3,35	<0,0399 significant
	A-Dolgu Tipi	63,24	1	63,24	0,86	0,3727
	B-Dolgu Oranı	988,622	2	494,33	6,70	0,0111
	AB	184,56	2	92,28	1,25	0,3209
	Pure Error	885,01	12	73,75		
	Cor Total	2121,48	17			



Şekil 4. SDM ve LDM türü ve katılım oranının üretilen test örneklerinin gerilme-gevşeme davranışlarına etkileri

Gerilme-gevşeme değerlerinde dolgu maddesi oranı ve türü belirgin olarak etkisinin önemli olduğu tespit edilmiştir. SDM ve LDM katılım oranının test örneklerinin gerilme-gevşeme değerlerinde katılım oranına paralel olarak azalttığı tespit edilmiştir. Elde edilen değerler benzer çalışmalar ile uyumludur (Kutty ve Nando, 1991; Fancey, 2005; Bhattacharyya vd., 2006; Mirzaei vd., 2011; Wang vd., 2012; Obaid vd., 2018). Daha önce yapılan benzer çalışmalarda; birden fazla lif türü içeren hibrit kompozitlerin gerilme-gevşeme davranışını incelemişlerdir. Dolgu maddesi olarak poliüretan içerisinde kevlar liflerini kullandığı bir çalışmada lif katılım oranı orantılı olarak gerilme-gevşeme değerlerindeki azalma meydana geldiği tespit edilmiştir (Kutty ve Nando,1991). Polyester elyafın dolgu maddesi olarak poliüretan içerisinde kullanıldığı bir çalışma ise gerilme-gevşeme değerlerini yavaşlattığını Kutty ve Nando (1991); muz liflerinin dolgu maddesi olarak kullanıldığı başka bir çalışma ise bu liflerin gerilme-gevşeme oranını azalttığı (Poathan vd., 2004); odun lifi miktarı arttıkça Polipropilen kompozitlerin gerilme-gevşemesinin azaldığı (Bhattacharyya vd., 2006); Cam liflerinin yüksek yoğunluklu polietilen-de zincir mobilitesinde azalmaya neden olduğunu (Saeed vd., 2014); polipropilen kompozitlerin içeri-sinde hurma odun lif miktarının artmasıyla beraber gevşeme oranının düştüğü (Boukettaya vd. 2015); odun unu eklenmesinin Polipropilen kompozitlerin gerilme gevşetme oranını azalttığını (Wang vd., 2012); fenol formaldehit matrisindeki kısa palmye lif içeriğinin artmasının gerilme-gevşeme değerlerini düşürdüğü (Sreekala vd., 2001); politetrafluoro etilen dolgu maddesi katılımı ile bu değerlerin düştüğünü (Stan ve Fetecau, 2013) tespit etmişlerdir. Polimer matris içerisine SDM ve LDM dolgu maddesi eklenmesi ile birlikte matris arayüzündeki akışın yavaşlayarak polimer zincirlerini sınırlandırdığı bununla beraber polimer zincirleri arasındaki bağların koparak birbirleri üzerinden rahatça kaymasını (Kutty ve Nando, 1991; Bhattacharyya vd., 2006; Mirzaei vd., 2011; Wang vd., 2012; Obaid vd., 2018) önlediği düşünülmektedir.

4. Sonuç ve öneriler

Odun plastik kompozitlerin dolgu maddesi oranı ve türünün gerilme-gevşeme değerlerini düşürdüğünü belirtmiştir. Gerilme-gevşeme değerlerinde dolgu maddesi türü ve oranının etkisinin önemli olduğu tespit edilmiştir. SDM ve LDM katılım oranının test örneklerinin içerisine dolgu maddesi türüne bağlı kalmaksızın katılım oranının artmasına orantılı olarak gerilme-gevşeme değerlerini bariz olarak azalmasına sebep olduğu tespit edilmiştir. Dolgu maddesi miktarı arttıkça polimer zincirlerinin aralarındaki hareket kabiliyeti düşerek gevşemeyi arttırdığı tespit edilmiştir. Gerilme-gevşeme davranışının önemli olduğu uygulamalarda dolgu maddesi oranının dikkate alınarak uygulamaların planlanması gereklidir.

Kaynaklar

- ASTM D 638, 2004. Standard test method for tensile properties of plastics. ASTM International, West Conshohocken, PA., USA.
- Boukettaya, S., Almaskari, F., Abdala, A., Alawar, A., Daly, H.B., Hammami, A., 2015. Water absorption and stress relaxation behavior of PP/date palm fiber composite materials. In: Design and Modeling of Mechanical Systems -II (Ed: Chouchance, M., Fakhfakh, T., Daly, H., Aifaoui, N., Chaari, F.), Springer, Hammamet, Tunisia, pp. 437-445.
- Bhattacharyya, D., Manikath, J., Jayaraman, K., 2006. Stress relaxation of woodfiber-thermoplastic composites. Journal of Applied Polymer Science, 102: 401-407.
- Clemons, C., 2002. Wood-plastic composites in united states: The interfacing of two industries. Forest Products Journal, 52(6): 10-18.
- Çavuş, V., 2017. Farklı erime akış indeksine sahip polipropilen esaslı ahşap polimer kompozitlerin özelliklerinin belirlenmesi. Doktora tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Çavuş, V., Mengeloğlu, F., 2016. Utilization of synthetic based mineral filler in wood plastics composite. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 77(2): 57-63.
- Çavuş, V., Mengeloğlu, F., 2020. Effect of wood particle size on selected properties of neat and recycled wood polypropylene composites. Bioresources, 15(2): 3427-3442.

- Design Expert® 7.0.2., 2004. Stat-Ease Inc., Minneapolis, MN, USA. English, B., Falk, R., 1995. Factors That Affect The Application of Wood Fiber Plastic Composites: Wood-Fiber-Plastic Composites, Virgin and Recycled Wood Fiber and Polymers for Composites. Forest Products Society Project Report No: 7293, Madison.
- Erten, P., Önal, S., 1987. Kızılçam Odununun Özellikleri, Korunması, Reçine Üretimi ve Kullanım Yerleri. Orman Araştırma Enstitüsü Yayınları, El Kitapları Dizisi I, Ankara.
- Fancey, K.A., 2005. Mechanical model for creep, recovery and stress relaxation in polymeric materials. *Journal of Material Science*, 40(18): 4827–4831.
- Hietala, M., 2013. Extrusion processing of wood-based biocomposites. Doctoral Thesis, Luleå University of Technology, Luleå.
- Kaymakçı, A., 2015. Çeşitli güçlendirici dolgularla üretilen ahşap plastik nanokompozitlerin karakterizasyonu. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kutty, S.K., Nando, G.B., 1991. Short kevlar fiber-thermoplastic polyurethane composite. *Journal of Applied Polymer Science*, 43: 1913–1923.
- Leong, Y.W., Abu Bakar, M.B., Mohd Ishak, Z.A., Ariffin, A., Pukanszky, B., 2004. Comprasion of the mechanical properties and interfacial interactions between talc, kaolin and calcium carbonate filled polypropylene composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 91: 3315–3326.
- Marisa, C.G.R., Antonio, H.M.F.T.S., Fernanda, M.B.C., Ana Lucia, N.S., 2005. Study of composites based on polypropylene and calcium carbonate by experimental design. *Polymer Testing*, 24: 1049–1053.
- Matuana, L.M., Heiden, P.A., 2004. Wood composites. In: *Encyclopedia of Polymer Science and Technology* (Ed: Kroschwitz, J.I.), Wiley, New York, pp: 523-546.
- Mazlum, U., 2008. EPDM sentetik kauçuğunun gerilme gevşemesi davranışının deneysel olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Mirzaei, B., Tajvidi, M., Falk, R., Felton, C., 2011. Stress-relaxation behavior of lignocellulosic high-density polyethylene composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 30: 875–881.
- Neyişçi, T., 2001. Kızılçamın ekolojisi. In: *Kızılçam El Kitabı* (Ed: Öktem, E.), Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Muhtelif Yayınlar Serisi: 52, Ankara, s. 25-47.
- Obaid, N., Kortschot, M.T., Sain, M., 2018. Predicting the stress relaxation behavior of glass-fiber reinforced polypropylene composites. *Composites Science and Technology*, 161: 85–91.
- Pothan, L.A., Neelakantan, N.R., Rao, B., Thomas, S., 2004. Stress relaxation behavior of banana fiber-reinforced polyester composites. *Journal of Reinforced Plastics Composite*, 23: 153–165.
- Saeed, U., Hussain, K., Rizvi, G., 2014. HDPE reinforced with glass fibers: Rheology, tensile properties, stress relaxation, and orientation of fibers. *Polymer Composite*, 35: 2159–2169.
- Stan, F., Fetecau, C., 2013. Study of stress relaxation in polytetrafluoroethylene composites by cylindrical macroindentation. *Composite Part B*, 47: 298–307.
- Sreekala, M.S., Kumaran, M.G., Joseph, R., Thomas, S., 2001. Stress relaxation behavior in composites based on short oil-palm fibres and phenol formaldehyde resins. *Composites Science and Technology*, 61: 1175–1188.
- Vahapoğlu, V., 2006. Kauçuk türü malzemelerin inelastik özelliklerinin deneysel olarak incelenmesi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Wang, Y., Cao, J., Zhu, L., Zhao, G., 2012. Interfacial compatibility of wood flour / polypropylene composites by stress relaxation method. *Journal of Applied Polymer Science*, 126: 89–95.