

DİNAMİK YOL YÜKLERİNE MARUZ DONDURULMUŞ GIDA SAKLAMA KAPLARININ KIRILMA ANALİZİ

Murat REİS *
Ali DURMUŞ *

Alınma: 17.05.2016; düzeltme: 08.11.2016; kabul: 25.04.2017

Öz: Bozuk yol şartları veya aracın ivmelenmesi sonucu aracın kargo yükü dikey ve yatay dinamik yüklere maruz kalmaktadır. Soğuk zincir ile dondurulmuş olarak (-20 ° C) taşınan gıdaların nakliyesinde bu dinamik yükler saklama kaplarının kırılmasına neden olan başlıca etkindir. Düşük sıcaklıklar polipropilen saklama kaplarının kırılma dayanımını artırarak katkı maddelerinin kullanımı da kısıtlamaktadır. Zira pek çok katkı maddesi saklama kabının dayanımını artırıp kırılma dayanımını azaltırken, diğer yandan insan sağlığına tehdit oluşturan bileşenler içermektedir. Bu durum özellikle gıda maddelerinin taşınmasında bazı özel tedbirlerin alınması veya istif sayısının sınırlandırılması gerektirir ki, bu da taşıma maliyetlerinin yükselmesi anlamına gelmektedir. Bu çalışmada polimer dondurma kutularının düzgün olmayan yol şartlarındaki kırılma analizi MSC.Dytran programı yardımı ile yapılmakta ve belirtilen ivme ve yükleme koşulları için emniyetli cidar kalınlığı tespit edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Araç, Yol, Kırılma, Polipropilen

Fracture analysis of thin-walled frozen food storage containers under dynamic road loads

Abstract: Rough road conditions and acceleration of the vehicle exposed to vertical and horizontal dynamic loads. Dynamic loads causes the fracture of the containers at cold chain (-20 ° C) food transportation. Low temperature increases fragility of polypropylene storage containers. Besides, some additives cannot be used for increasing the fracture strength of the polypropylene storage container if it carries food. In fact, many of these additives contain ingredients that pose a threat to human health. This is particularly required to take some special precaution for the transport of foodstuffs. This means the increase of transportation costs. In this study, computer aided fracture analysis of these thin walled polypropylene food containers under dynamic loads has been studied by using MSC.Dytran.

Keywords: Vehicle, Road, Fracture, Polypropylene

1. GİRİŞ

Polipropilen, otomotiv sanayinde kullanılan parçalardan, tekstil ve yiyecek paketlemesine kadar çok geniş kullanım alanı olan termoplastik bir polimerdir. Monomer propilenin polimer hale getirilmesi ile elde edilen polipropilen kimyasal solventlere (asit ve bazlar) karşı aşırı derecede dirençlidir. Bu özelliklerinden dolayı polipropilen malzemeler gıdaların muhafazası ve ambalaj malzemeleri üretiminde çok tercih edilen hammaddelerdir (Shonaike ve Advani, 2003, Tripathi, 2002).

İnce cidarlı polipropilen kutular üst üste istif edilerek depolanmakta ve taşınmaktadır. Kutuların taşınması esnasında; aracın yatay ivmelenmesi ve yol şartlarındaki düzensizlikler aracın kargo bölümünde dikey yer değiştirmeler meydana getirir. Bu durum taşınan kargonun dinamik yüklerin etkisi altında kalmasına sebep olmaktadır. Statik olarak çok daha büyük

* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 16059, Görükle, Bursa
İletişim Yazarı: Murat Reis (reis@uludag.edu.tr)

yükleri taşıyabilmelerine karşın, taşıma esnasında en alttaki kutular bu dinamik yüklerin etkisiyle burkulma, ezilme veya kırılma sonucu tahrip olabilmektedirler (Reis ve diğ., 2012).

Polipropilen malzemelerin mukavemet özellikleri sıcaktan metallere nazaran çok daha fazla etkilenirler ve özellikle çok düşük sıcaklıklarda cam gibi kırılma bir özellik gösterirler (Richetona ve diğ., 2006, Moy ve diğ., 2011).

Bu çalışmada yol şartlarından kaynaklanan dinamik yüklerin tesiri altındaki Şekil 1 de gösterilen plastik dondurma saklama kutularının ezilme ve kırılma risk durumları MSC.Dytran programı yardımı ile incelenmiştir. Çalışmanın ilk bölümünde aracın süspansiyon sisteminin pozitif etkisi de göz önüne alınarak depolama alanının sahip olması muhtemel maksimum dikey ivme değerine etki eden değişkenler gösterilmekte ve ivme ifadesi verilmektedir. İkinci bölümde bu ivme verileri kullanılarak MSC. Dytran programı yardımı ile 0,50mm ve 0,55mm cidar kalınlıkları için mevcut kutunun statik ve dinamik yükler etkisi altındaki davranışları bilgisayar simülasyonları ile gerçekleştirilmiş ve dayanım sınırları tespit edilerek analiz sonuçları verilmiştir. Tartışma kısmında ise daha sağlıklı bir analiz için tavsiyeler yer almaktadır.

2. SİMÜLASYON VERİLERİNİN TESPİTİ

Mevcut yapı için üç farklı risk bölgesi mevcuttur. Birinci risk bölgesi kesme ve çeki yüklerinin tesiri altındaki kapak bölgesidir ve burada malzemenin katılık özelliği arttıkça kesme kuvvetleri artar. Malzemenin katılığı azaldıkça çeki yükleri baskın hale geçer. Şu halde -20 °C de muhafaza edilen dondurma kutularında elastisite modülünün değişimi dikkatle takip edilmeli ve -20 °C deki mekanik özellikleri bilinmelidir.

İkinci risk bölgesi kesit burkulmasına zorlanan kutu yan duvarları ve üçüncü risk bölgesi ise çeki-bası ve kayma gerilmelerinin tesiri altındaki üst kenar bölgeleridir. Bu kısım kapak ve kutuya ait iki katlı bir tabaka halinde bulunduğu ve ekstra mukavemet tedbirleri ile desteklendiğinden daha çok zorlanmasına karşın daha düşük bir risk altındadır.

Kutuların Taşınması Esnasında; yol şartlarındaki düzgünlükler nedeni ile araç daima dikey doğrultudaki titreşimlere haizdir. Bu titreşimler aracın dikey ivmelenmesine ve taşınan kargoya yerçekimi ivmesinden farklı değişken bir ivmenin etkimesine sebep olmaktadır. Bu durumda en alttaki kutu için iki farklı risk söz konusudur: Şayet kutular birbirine iyice bağlanmış ise, dikey ivmenin aşırı arttığı anlarda en alttaki kutuya statik halden daha yüksek bir taşıma yükü etkir. Ancak kutuların birbirine iyi sabitlenmemiş ise kutular birbirinden ayrılarak en alttaki kutunun üzerine düşebilir. İlk durum statik eşdeğer yük kullanılarak kolayca analiz edilebilir ancak ikinci halde yani çarpma sonucu oluşacak tahribatlarda kinetik enerji belirleyici rolü oynar.

Aracın kargo bölümünün dikey ivmesi, aracın hızına, süspansiyon sisteminin sertliğine ve yol şartlarındaki düzgünlüğüne bağlı olarak değişmektedir. Bu çalışmada emniyet açısından Sun ve Yang (2010) tarafından verilen 40 m/s² lik dikey ivme değeri yaklaşık dikey ivme değeri olarak kullanılacaktır (Şekil 2).

3. SİMÜLASYON MODELİ

Kutuların dikey doğrultuda birbirinden bağımsız hareketlerine izin verilmesi durumunda aracın titreşimleri kutuların birbirlerinden ayrılmasına ve üstteki kutuların alttakiler üzerine belli hızlarla çarpmasına neden olmaktadır. Bu nedenle taşıma işlemi esnasında kutuların birbirinden ayrılmaları engellenecek tedbirler alınmalıdır. Böylesi bir tedbir taşıma esnasında kutuların birbirine vura vura tahrip olma riskini azaltacaktır. Ancak bu tedbir alınsa dahi az da olsa bir miktar ayrılma daima olasıdır. Ölçümler dış bir ambalaj sayesinde kutuların birbirinden en fazla 2 mm kadar ayrılabilmediğini göstermiştir. Bu durum, darbe testlerinde taşınan tüm yükün en alt kutu üzerine 2 mm yükseklikten bırakılması anlamına gelmektedir.

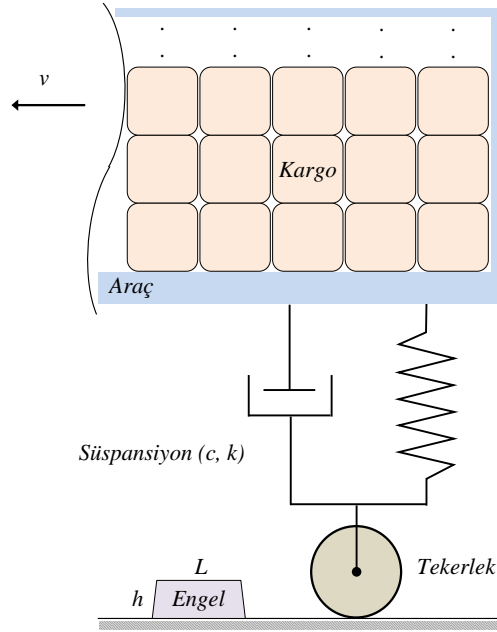


a.

b.

Şekil 1:

(a) Dondurma kutusu, (b) Geometrik modeli (Unilever A.Ş. den alınmıştır)



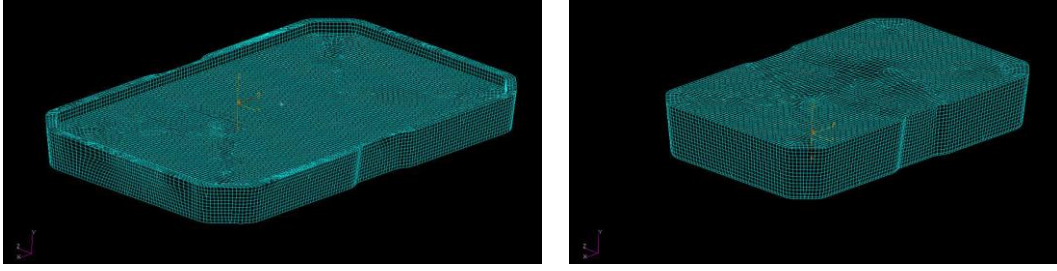
Şekil 2:

Araç, kargo ve bozuk yol şartlarının basit modeli (Richetona ve dig., 2006)

Dondurma seviyesinin altında kalan bölge katı haldeki dondurma tarafından desteklendiği için analizlerde göz ardı edilmiş ve dondurma seviyesinin üst kısmı 22785 kabuk elemana bölünerek modellenmiştir (Şekil 3.a).

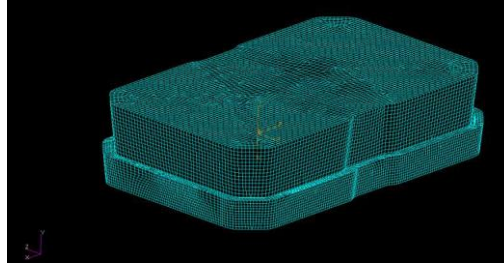
İstif halinde taşınan kutulardan en alttaki kutu diğer tüm kutuları taşımakta ve istif sayısı 35 olduğunda en alttaki kutu yaklaşık olarak 21 kg'lık bir statik yük ile zorlanmaktadır. En alttaki kutunun taşıdığı diğer tüm kutular görece daha az risk altında olduğundan, bu kutuların tamamı 21 kg'lık bir tek kutu ile temsil edilmektedir. Şekil 3.b de gösterilen rijit yarım kutu ile temsil edilen bu toplam kütle, Şekil 3.a da gösterilen yarım kutu tarafından taşınmaktadır. Üstte taşınan kutuların tamamını temsil eden bu rijit kutunun sadece alt yarısı alınmıştır. Zira burada önemli olan en alttaki kutuya basan yüzey şekli ve kütledir.

Şekil 3.c de gösterildiği gibi en alttaki kutunun taşıdığı tüm yük tek bir kutuya izafe edilerek analizi yapılacak en alt kutunun üzerine 2 mm yükseklikten serbest düşmeye bırakılmıştır. Bu sadeleştirmeler, analiz süresini uzatmadan hedef malzemede daha yoğun ağ yapısı oluşturabilmek içindir.



a.

b.



c.

Şekil 3:

Dondurma kutusu sonlu elemanlar modeli

a. En alttaki kutunun dondurma seviyesinin üzerinde kalan kısmı, 22785 Eleman, 22618 Nod.

b. En alttaki kutunun üzerinde taşıdığı tüm kutuları temsil eden yarım kutu modeli, 13167

Eleman, 13109 Nod. c. Simülasyon Modeli

4. ANALİZ

Analizlerde kutu ve kapak malzemesi olarak Bormod BJ368MO polipropilen malzeme seçilmiştir. Seçilen polipropilen malzemenin bilinen mekanik özellikleri aşağıda verildiği gibidir.

Eleman Özellikleri

Burada iki ayrı eleman tipi mevcuttur. Bu elemanlar

1. En alttaki kutu: Shell , Elas Plas (DMATEP)

2. Üstteki kutu: Rigid (MATRIG) şeklindedir. Modellemelerde toplam 35952 adet eleman kullanılmıştır.

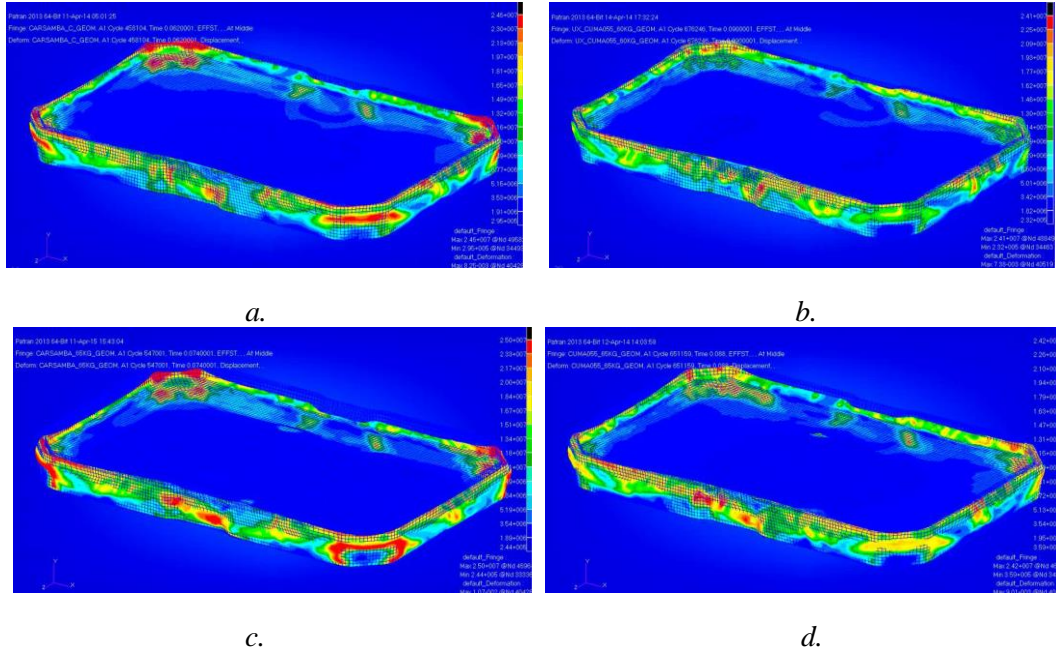
Malzeme Özellikleri

Bormod BJ368MO

- Yoğunluk = 903 kg/m^3
- Elastisite modülü = $1,45 \times 10^9 \text{ N/m}^2$
- Akma Gerilmesi = $25 \times 10^6 \text{ N/m}^2$
- Çentik Darbe Dayanımı ($-20 \text{ }^\circ\text{C}$) = $4,0 \text{ kJ/m}^2$

4.1. Statik Analiz

Statik analizlerde 40-45-50-55-60-65 ve 70 kg kütlelerine sahip kutular 0,1 mm gibi oldukça küçük bir yükseklikten analizi yapılacak kutu üzerine bırakılmaktadır. Saniyenin yüzde beşi gibi bir sürede denge konumuna ulaşan sistemde 40 kg'lık taşıma yükü 5 kg'lık artımlarla çoğaltılarak ezilmemin başladığı maksimum taşıma yükü tespit edilmektedir. Şekil 4'te görüldüğü gibi 65 kg için 0,50 mm kalınlıktaki kutunun yan duvarları ezilmektedir. Et kalınlığı 0,55 mm kalınlığa çıkarılarak bu özellik iyileştirilebilmektedir.



Şekil 4:

Statik analiz simülasyon sonuçları

a. 60 kg taşıma yükü ve 0,50 mm et kalınlığı, b. 60 kg taşıma yükü ve 0,55 mm et kalınlığı, c. 65 kg taşıma yükü ve 0,50 mm et kalınlığı. (Kutu yan duvarları eziliyor). d. 65 kg taşıma yükü ve 0,55 mm et kalınlığı

4.2. Darbe Analizi

-20 °C'de elastisite modülü artan ve kırılma hızı artan malzeme için en büyük risk çarpma etkisi ile çatlama ve kırılma tehlikesidir. Bu risk malzemenin çentik darbe dayanımı ile test edilebilir. Çentik darbe dayanımı cismi en kritik kesitten koparmak için gerekli enerji değeri kesit alanına bölünerek elde edilebilir. Seçilen malzemenin -20 °C'deki çentik darbe dayanımı bilinmemektedir ve bu değer kullanılarak ön değerlendirme için basit bir Excel programı hazırlanmıştır.

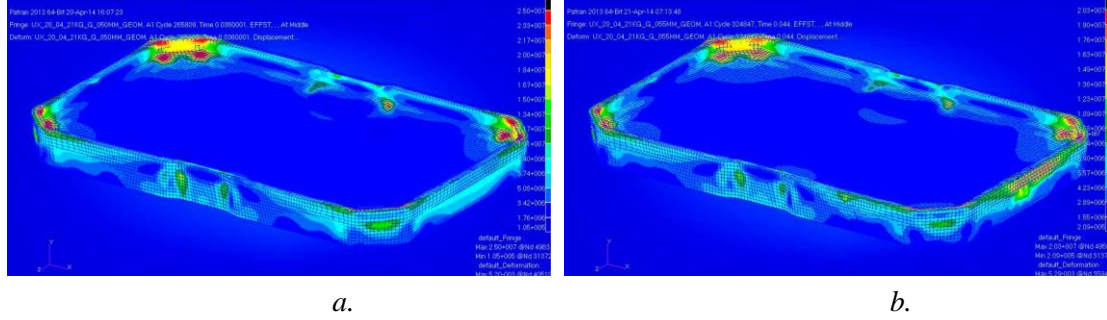
Bu halde aracın bozuk yol şartlarındaki dikey hareketleri sonucu en altta bulunan kutunun üzerindeki kutuların hep birlikte ayrılarak tekrar kutu üzerine düşmesi gerçekleşmesi zor ancak mümkün olan en riskli durumdur. Burada taşıma şartları en az kutu mukavemeti kadar önem arz etmektedir. Zira üstteki kutuların hep birlikte en alttaki kutu üzerine 2 mm yerine 4 mm yükseklikten düşmesi kutunun sönmülmesi gereken kinetik enerjiyi iki katına çıkaracaktır.

Darbe yüklerinin tespitinde iki temel büyüklük söz konusudur. Bunlar çarpma kinetik enerjisi ve bu enerjiyi koparak sönmülleyen kritik kesit alanıdır. Enerjinin korunum kanununa göre çarpma kinetik enerjisi h (2mm) yükseklikten düşen bir cisim için bu cismin yerçekimine göre potansiyel enerjisine eşittir. Bu enerjiyi yırtılarak yutan en kritik kesit ise düşen kutunun temas yüzeyini içine alan minimum çevre uzunluğu kapak cidar kalınlığı ile çarpılarak elde edilebilir. Bu hesap yaklaşık bir sonuç vermesine karşılık oldukça basittir ve deneysel veriler kullanılarak doğru bir şekilde modifiye edildiğinde çok daha kesin sonuçlar verebilir.

Ancak kutuların birbirinden hiç ayrılmayacakları taşıma tedbirleri alınsa dahi bu kez farklı bir risk söz konusu olacaktır. Bu da aracın dikey hareketleri sonucu oluşacak düşey ivme değişimlerinin kutular arasındaki temas kuvvetlerini değiştirmesi sonucu ortaya çıkar. Mesela yoldaki bir engel üzerinden aşarken aracın kargo bölümüne gelen ivme yerçekimi ivmesinin iki katına kadar çıkabilir. Böylesi bir durumda kutunun hangi dikey ivme değerinde tahrip olacağı statik olarak taşıdığı maksimum yük, nakliye esnasında taşıdığı yüke bölünür ve sonuç yerçekimi ivmesi ile çarpılarak elde edilebilir. Örneğin söz konusu kutu modeli için $W_{statik} = 65$ kg, $W_{nakliye} = 21$ kg'dır. Şu halde çok iyi taşıma tedbirleri alınsa dahi aracın kargo bölümün

dikey ivmesi $a_y = (65/21) \times 9,81 = 3,09 \times 9,81 \text{ m/s}^2$ değerine ulaştığında en alttaki kutu ezilme riski taşımaktadır. Analiz sonuçları 0,50 mm ve 0,55 mm et kalınlıklarının her ikisi için de kutu üst yüzeyinde kırılma riskinin olduğunu göstermektedir (Şekil 5).

Kutular üst üste 36 sıra halinde taşınmaktadır. Şu halde en alttaki kutu her biri 0,6 kg kütlelerinde 35 adet kutuyu taşımaktadır ki toplam taşınan kütle 21 kg'dır. Bu yük 2 mm yüksekten en alttaki kutu üzerine serbest düşürülmektedir.



Şekil 5:
Darbe analizi simülasyon sonuçları: **a.** 0,50 mm, **b.** 0,55 mm

5. TARTIŞMA

Ezilme riski söz konusu olduğunda model geometrisinde en kritik bölgeler dondurma seviyesinin üzerindeki kutu yan duvarlarının köşe kısımlarıdır. Darbe ile kırılma riski için ise kapak yüzeyinin kenar kısımları en çok zorlanan bölgelerdir. Buralarda yapılacak kısmi kesit artımları kutunun hem ezilme, hem de darbe dayanımını artıracaktır. Yan duvarların köşe kısımlarında da kısmi cidar artışları yapılabilir. Söz konusu kutunun ezilme dayanımı kullanılan malzemenin elastisite modülü artırılarak yükseltilebilir. Ancak bu çentik darbe dayanımını zayıflatacak bir önlemdir. Zira cisimlerin şekil değiştirmeleri kısıtlandığı ölçüde kırılma riski artar.

KAYNAKLAR

1. Shonaike, G.O., Advani, S.G. (2003) Advanced Polymeric Materials: Structure Property Relationships, CRC Press London.
2. Tripathi, D. (2002) Practical Guide to Polypropylene, Rapra Tech.Ltd., UK.
3. Reis, M.G., Reis, M., Durmuş, A. (2012) Dinamik Yüke Maruz İnce Cidarlı Polimer Kutuların Bilgisayar Destekli Burkulma Analizi, 6. Otomotiv Teknolojileri Kongresi, Haziran 2012, Bursa.
4. Richetona, J., Ahzia, S., Vecchiob, K.S., Jiangb, F.C., Adharapurapub, R.R. (2006) Influence of temperature and strain rate on the mechanical behavior of three amorphous polymers: Characterization and modeling of the compressive yield stress, International Journal of Solids and Structures, Volume 43, Issues 7–8, April 2006, Pages 2318–2335.
5. Moy, P., Gunnarsson, C.A., Weerasooriya, T., Chen, W. (2011) Stress-Strain Response of PMMA as a Function of Strain-Rate and Temperature”, Dynamic Behavior of Materials, Conference Proceedings of the Society for Experimental Mechanics, Volume 1, 18 May 2011, pp 125-133.
6. Sun, J., Yang, Q. (2010) Simulation Research of Semi-active Suspension System of Engineering Vehicle, 2nd International Conference on Information Science and Engineering (ICISE), pp: 1512-1515.