

Hakan KİBAR¹
Turgut ÖZTÜRK²

Çelik Konstrüksiyonlu Tombul Fındık Silosunun Sonlu Eleman Yöntemi ile Modal Analizi³

The modal analysis with finite element method of steel construction tumbul hazelnut silo

¹ Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Iğdır
e-posta: hakan.kibar@igdir.edu.tr

² Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Samsun

³ İlk yazarın Doktora Tezinin Bir Bölümüdür.

Alınış (Received): 18.03.2013

Kabul tarihi (Accepted): 27.05.2013

Anahtar Sözcükler:

Fındık, silo, modal analiz, sonlu eleman yöntemi

Key Words:

Hazelnut, silo, modal analysis, finite element method

ÖZET

Bu çalışmada, Tombul fındık depolanmasında kullanılması planlanan farklı silo modellerinin sonlu eleman yöntemi ile modal analizleri yapılarak mod şekilleri ve doğal frekansları değerlendirilmiştir. Depolama kapasiteleri açısından en fazla depolama hacmine sahip olan Model 1 silosunda daha düşük frekans değerleri belirlenmesine rağmen, en düşük depolama hacmine sahip Model 2 silosunda ise en yüksek doğal frekans değerleri elde edilmiştir. Çalışma kapsamında Model 1, Model 2 ve Model 3 silolarının doğal frekanslardaki değişimlerine bağlı olarak farklı mod şekilleri saptanmıştır. Araştırma sonucunda, cidar kalınlığındaki artışın model siloların frekans değerlerinde artışa yol açtığı saptanmıştır.

ABSTRACT

In this study, mode shapes and natural frequencies of different silo models planned to be used for storing of Tombul hazelnut performing modal analysis with the finite element method were evaluated. In terms of storage capacity, although lower frequency values was determined in Model 1 silo which has the maximum storage volume, the highest natural frequency values in Model 2 silo which has the lowest storage volume were obtained. In the scope of study, the different mode shapes were obtained depending on changes in the natural frequencies of the Model 1, Model 2 and Model 3 silos. As a result of research, it was found the increase in wall thickness lead to an increase in the frequency values of model silos.

GİRİŞ

Türkiye’de Fındık (*Corylus Avellana*) tarımı gerek yaratmış olduğu katma değer ve gerekse sağladığı istihdam bakımından büyük bir öneme sahiptir. Türkiye’ nin dünya fındık üretiminin büyük bir kısmını karşılaması fındığın ülkemiz açısından önemini daha da artırmaktadır (Kılıç, 2002).

Ordu ilinden sonra en fazla fındık üretim miktarına Giresun ili sahiptir. 2012 yılı itibariyle Giresun ili fındık üretimi 101532 ton’dur (TÜİK, 2013). Giresun ilinde en fazla üretimi yapılan Tombul fındık ülkemizde yetişen en önemli fındık çeşididir. Bu fındık çeşidi daha ziyade Giresun ilinde yaygın olarak yetiştirilmektedir. Meyve

kalitesinin çok iyi olması uluslararası pazarlarda kolayca tutunmasını sağlamış ve Türk fındığı dünya ülkelerince aranır duruma gelmiştir. Periyodisite özelliği gösteren tombul fındık çeşidi iyi ve bakımlı bahçe koşullarında her yıl düzenli ve oldukça yüksek verim vermektedir (Anonim, 2013).

Silo kohezyonsuz malzemelerin (hububat, kömür, cevher vb.) depolandığı ve korunduğu modern yapıların genel adıdır (Özel, 2007). Çeşitli tarım, hayvancılık ve endüstriyel üretim süreçleri; ince cidarlı metalik silindirlerin kullanımını diğer depolama metodları ile günümüze kadar artırmıştır. Çelik silolar beton silo yapılarına oranla daha hafif yapılar olduğundan, ürün

kolay ve hızlı boşaltabilen, farklı yapısal mekanizmalarla yüklerini taşıyabilen, simetrik olmayan yükler altında kolayca deforme olabilen ve tekrar geri dönebilen (elastik) özelliklere sahiptir. Böylece çelik silolar geniş çaplı, büyük miktarlarda ürünün kısa ve uzun süreli depolanması için kullanılmaktadır ve son yıllarda madencilik, kimyasal, tarım ve gıda işleme gibi birçok sanayi alanı depolamaları için de inşa edilmiştir. Çelik silolarda taneli ürün depolanmasındaki temel esas, ürünün mekaniksel özelliklerine dayalı olarak hesaplanan gerilmelerle güvenli ve ekonomik bir yapı elde etmektir (Juan et al., 2006).

Son yirmi yılda, modal analiz, mühendislik yapılarının dinamik özelliklerini belirlemek iyileştirmek ve optimize etmek için önemli bir arayış halinde olan bir teknoloji haline gelmiştir. Modal analizin sadece mekanik ve havacılık mühendisliğinde değil aynı zamanda diğer modern mühendislik ve yapı elemanlarında da kullanımı yaygınlaşmaktadır (He and Fu, 2001). Günümüzde teknolojinin ilerlemesi ile birlikte yapılarda da kullanılan malzemelerin ekonomik olabilmesi için daha hafif, esnek ve dayanımlı olması gerekmektedir. Yapının bu özellikleri sağlayabilmesi için uygun sonlu eleman programı ile modal analizleri gerçekleştirilerek, malzemeye bu özellikler kazandırılmalıdır. Buna bağlı olarak mühendislik yapıları üzerinde emniyet ve güvenilirlik tedbirleri talepleri de artmaktadır. Artan bu taleplere ilişkin yapının dinamik özelliklerini daha iyi anlamak için titreşim hareketlerinin sayısal, analitik, yazılım programları veya deneysel yöntemlerle belirlenmesi gerekmektedir. He and Fu (2001) modal analizin uygulama kapsamının gelecek yıllarda daha fazla gelişim göstereceğini de ifade etmektedirler.

Silo yüksekliğinin 25 m'den yüksek olduğu koşullarda siloda modal analiz yapılmalıdır (Hüner, 2006). Modal analiz; doğrusal zamanla değişmeyen dinamik sistemin titreşim cevabının titreşim doğal modları olarak adlandırılan bir dizi basit harmonik hareketlerin doğrusal kombinasyonu olarak ifade edilebileceği gerçeği üzerine kuruludur. Titreşim doğal modları, dinamik bir sistemde doğaldır ve onun fiziksel özellikleri (kütle, sertlik, sönüm) ve mekansal dağılımları tarafından belirlenir. Her mod kendi modal parametreleri (doğal frekans, modal sönüm faktörü ve karakteristik deplasman modeli, mod şekli) açısından açıklanır. Mod şekli gerçek veya karmaşık olabilir, her bir doğal frekansa karşılık gelebilir. Tüm titreşimdeki her bir doğal modun katılım derecesi, hem uyarım özellikleri hem de sistemin mod şekilleri tarafından belirlenir (He

and Fu, 2001). Ayrıca dinamik ve döngüsel yüklemeye altındaki bir siloda titreşim davranışını ortaya koyabilmek amacıyla modal analiz yaygın bir şekilde araştırmacılar tarafından kullanılmaktadır (Michel et al., 2004). Silodaki titreşim davranışları ortaya konulmadığında silo yapısı üzerinde görünmez yapısal hatalar ortaya çıkmakta ve ilerleyen zamanlarda bu hatalar silo üzerinde deformasyona neden olabilmektedir. Bu nedenle silo inşa edilmeden önce tahribatsız olarak da yapılan modal analizler gerçekleştirilerek seçilen malzemenin mühendislik açıdan uygun olup olmadığına karar verilmelidir. Bu amaçla da ANSYS gibi sonlu eleman programı kullanılabilir.

Giresun yöresinde yüksek bir rekoltede üretilen fındığın depolanmasında kullanılan mevcut siloların depolama kapasiteleri yetersiz kalmaktadır. Fındık üreticileri ürettikleri ürünlerini en kısa zamanda Pazarladıkları sonra tüccarlar modern ve teknolojik depolama yapıları ile ilgili sorunlar yaşayabilmektedir. Çünkü kullanılan farklı depo tipleri havalandırma, yalıtım, doldurma ve boşaltma sistemlerinin yetersizliği gibi yapısal sorunları olan depolardır. Bu nedenle uygun depolama yeri oluşturulamadığından fındığın yağlı olması nedeniyle önemli kalite kayıpları ortaya çıkmaktadır. Bu sorunları çözebilecek ürün depolama sistemlerinden birisi olan modern silolara ihtiyaç duyulmaktadır. İhtiyaç duyulan bu siloların inşasından önce tüm yönleriyle yapısal analizlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu yapısal analizlerden bir tanesi de bu çalışma içerisinde ele alınan modal analizdir.

Bu çalışma kapsamında farklı geometri ve cidar kalınlığına sahip çelik konstrüksiyon silo modellerinin dinamik karakterlerini yansıtabilecek şekilde ANSYS sonlu eleman programı kullanılarak üç farklı silo modellenmiştir. Modellenen siloların modal (doğal frekans) analizi yapılarak, sistemin sahip olduğu doğal frekansları ve bunlara ilişkin mod şekilleri incelenmiştir. Bu çalışma sayesinde silo yapısının farklı cidar kalınlıklarında çeşitli noktalarının dinamik olarak zorlanabileceği hareketler tespit edilmiştir.

MATERYAL ve YÖNTEM

Araştırma Alanının Konumu ve İklim Özellikleri

Araştırma alanı olan Giresun ili 40° 55' kuzey enlemi ve 38° 23' doğu boylamı arasında yer almaktadır. Giresun iline ait 1975-2010 yılları arası iklim verilerinin aylık ortalaması Çizelge 1'de verilmiştir (Anonim 2011).

Çizelge 1. Giresun ilinin aylık ortalama iklim parametreleri

Table 1. The monthly average climate parameters of Giresun province

Aylar	Ortalama bağıl nem, %	Ortalama sıcaklık, °C	Ortalama rüzgar hızı, m sn ⁻¹
Ocak	67.9	7.3	1.3
Şubat	69.3	6.9	1.4
Mart	72.7	8.2	1.3
Nisan	76.1	11.5	1.2
Mayıs	78.2	15.4	1.1
Haziran	76.1	20.1	1.2
Temmuz	75.9	23.0	1.1
Ağustos	75.5	23.3	1.1
Eylül	75.8	20.1	1.1
Ekim	75.0	16.3	1.1
Kasım	69.3	12.3	1.2
Aralık	67.1	9.3	1.2

Silo ve Ürüne İlişkin Özellikler

Bu çalışmada, Giresun ilinde yetiştiriciliği yapılan Tombul fındık çeşidinin depolamasında kullanılması planlanan silindirik gövdeli ve konik çıkış ağızlı çelik konstrüksiyon silo ele alınmıştır. Söz konusu siloya ilişkin kesit geometrisi özellikleri Şekil 1’de, boyutsal ve konstrüksiyon malzemesine yönelik özellikler ise Çizelge 2’de verilmiştir. Çalışmada, tombul fındık çeşidi kullanılmasının nedeni en kaliteli fındık çeşitlerinden birisi olarak yörede yoğun yetiştiriciliğinin yapılması, işleme ve ihracat süresince depolama ihtiyacının ortaya çıkmasıdır. Tombul fındık çeşidi ile ilgili mühendislik özellikler Çizelge 3’te verilmiştir.

Silo Yapısının Modellenmesi

Çalışmada cidar malzemesi olarak kullanılan malzemenin temel özellikleri, Eurocode 3’te esasları belirtilen çelik yapıların tasarım standardı temel alınarak belirlenmiştir (Eurocode 3, 2004). Cidar malzemesi olarak Vidal et al. (2004), Ayuga et al. (2006), Vidal et al. (2006) tarafından yapılmış çalışmalar göz önüne alınarak S235 çeliği kullanılmıştır.

Modellemede eleman tipi olarak ANSYS eleman kütüphanesinden 3 boyutlu, 20 düğümlü ve 6

serbestlik derecesine sahip eleman (Solid186) kullanılmıştır (Şekil 2). Similasyon sırasında mod şekilleri ve doğal frekanslar için yük uygulanmamış olup sınır koşullar tanımlanmıştır. Sonlu eleman programlarının en önemli avantajı modelin prototipine gerek duymadan analizlerin etkin ve hızlı bir şekilde yapılabilmesidir.

Yöntem

Çalışma kapsamında 3 farklı silo modeli tasarlanmıştır. Silo depolama kapasitelerinin saptanmasında Çizelge 2 ve 3’teki veriler kullanılmıştır. 1635 ton depolama kapasitesine sahip Model 1 silosunda 10, 15 ve 20 mm; 620 ton depolama kapasitesine sahip Model 2 silosunda 10, 15 ve 20 mm; 1124 ton depolama kapasitesine sahip Model 3 silosunda 10, 15 ve 20 mm’lik cidar kalınlıkları göz önünde tutulmuştur.

Silolarda doğal frekanslar ve mod şekilleri; sönümsüz dinamik hareket denklemi kullanılarak belirlenmektedir.

$$[M] \{\ddot{u}(t)\} + [K] \{u(t)\} = \{0\}$$

Eşitlikte, $[M]$ ve $[K]$ kütle ve rijitlik matrislerini, $\{\ddot{u}(t)\}$ ve $\{u(t)\}$ zamana bağlı ivme ve yer değiştirme vektörlerini göstermektedir. Denklemin çözümünden sistemin serbestlik derecesi kadar sönümsüz doğal açıl frekans ($\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots, \omega_n$) elde edilmektedir. Her bir doğal frekansa karşılık yapının almış olduğu şekil mod şekli olarak tanımlanır. Doğal frekansların küçükten büyüğe doğru sıralanması sonucunda elde edilen en küçük frekans temel frekans ve bu frekansa karşılık gelen mod şekli birinci mod şekli olarak adlandırılır. Elde edilen modal parametreler malzeme özelliklerine bağlı olarak değişkenlikler gösterebilmektedir (Petyt, 1990).

Silo modelleri ve modların istatistiksel analizinde tekrarlı ölçümler varyans analizinden yararlanılmıştır. Analiz sonucunda önemli çıkan özelliklerde ikili farklarla (pairwise difference) grup karşılaştırmaları uygulanmıştır. İstatistiksel analizde model (Model 1, 2, 3), cidar kalınlığı (10, 15, 20 mm), ve mod no (1, 2, 3, 4, 5) etkileşimleri yer almıştır. İstatistiksel analizlerde SPSS programından yararlanılmıştır.

Çizelge 2. Silo boyutsal ve konstrüksiyon malzemesi özellikleri
Table 2. The dimensional and structural material properties of silo

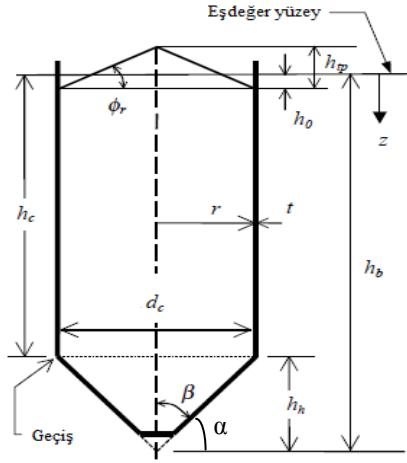
Modeller	Silo boyutsal özellikleri	Silo konstrüksiyon malzemesi özellikleri
Model 1	d_c : 12 m h_c : 30 m h_b : 36 m h_h : 6 m h_{tp} : 2.5 m h_0 : 0.8 m r : 6 m t : 10, 15, 20 mm α : 58° β : 32° V_s : 1635 ton*	- Gövde malzemesi: Galvaniz kaplı karbon S235 çeliği Elastisite modülü : 2.1×10^8 kPa Poisson oranı : 0.3 Birim ağırlık : 78.5 kN.m^{-3} Akma dayanımı : 235000 kPa Hesap akma dayanımı : 188000 kPa Kayma modülü : 81000 kPa - Birleştirmeler : Bulon
Model 2	d_c : 8 m h_c : 26 m h_b : 30 m h_h : 4 m h_{tp} : 1.8 m h_0 : 0.6 m r : 4 m t : 10, 15, 20 mm α : 50° β : 40° V_s : 620 ton*	
Model 3	d_c : 10 m h_c : 30 m h_b : 35 m h_h : 5 m h_{tp} : 2.1 m h_0 : 0.7 m r : 5 m t : 10, 15, 20 mm α : 60° β : 30° V_s : 1124 ton*	

* V_s : Silo kapasitesi

Çizelge 3. Siloda depo edilen Tombul fıındık ile ilgili fiziko-mekanik özellikler (Kibar, 2006)

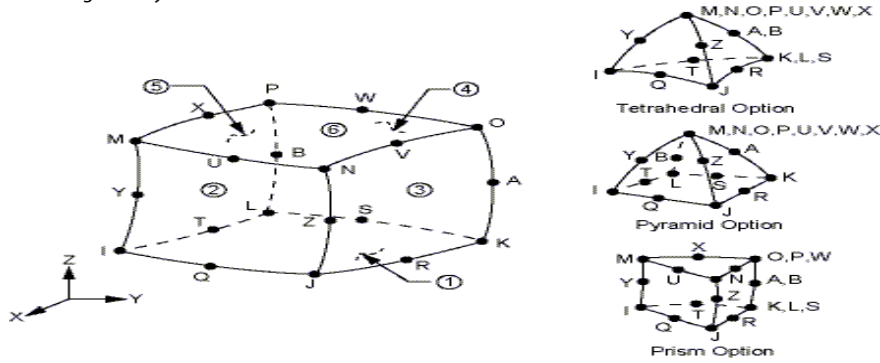
Table 3. The physical-mechanical properties related to Tombul hazelnut stored in the silo (Kibar, 2006)

Fiziko - mekanik özellikler	Birim	Değer
Birim hacim ağırlığı, γ_m	kg m^{-3}	451.8
İçsel sürtünme açısı, φ_m	derece	29.8°
Statik sürtünme katsayısı, μ_m		0.204
Basinç oranı, K_m		0.55



- d_c : Silo çapı, m
- h_c : Geçiş ile eşdeğer yüzey arasındaki düşey mesafe, m
- h_b : Çıkış apeksinden eşdeğer yüzeye olan mesafe, m
- h_h : Geçiş bölgesi ile apeks arasındaki huni yüksekliği, m
- h_o : Üst yığın tabanında eşdeğer yüzeyin altındaki derinlik, m
- h_{tp} : Silo üst kısmındaki şev yüksekliği, m
- r : Silo eşdeğer yarıçapı ($r = 0.5 d_c$), m
- t : Silo cidar kalınlığı, mm
- z : Ortalama doldurma düzlemi (eşdeğer yüzeyi)'ne göre derinlik, m
- α : Ortalama huni eğim açısı (yatayla yapılan açı), derece
- β : Düşeyden ölçülen silo duvarı eğim açısı, Huni apex yarı açısı ($=90^\circ - \alpha$)
- ϕ_r : Silolanan malzeme şev açısı, derece

Şekil 1. Silo kesit geometrisi.
Figure 1. Cross-sectional geometry of the silo.



Şekil 2. Solid186 elemanı için geometri.
Figure 2. Solid186 element geometry.

ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

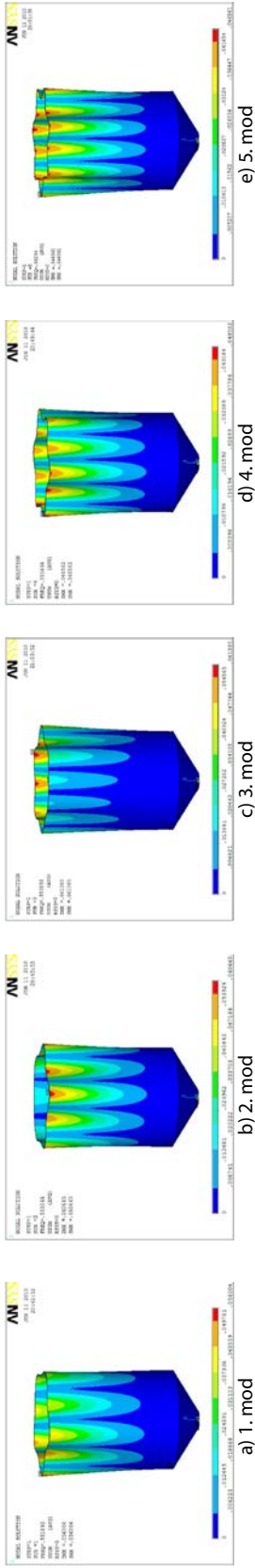
Bu çalışmada tüm modeller ve cidar kalınlıkları için 5 titreşim modunun doğal frekansı ve mod şekilleri ele alınmış olup her mod şeklinin sınıflandırması yapılarak modeller ve cidar kalınlıkları arasındaki farklılıklar ortaya konulmuştur.

Model 1 silosunun tüm cidar kalınlıklarına ilişkin 5 doğal frekans değeri Çizelge 4'te, farklı cidar kalınlıklarına ait mod şekilleri de Şekil 3'te verilmiştir. Çizelge 4 incelendiğinde doğal frekansların 0.55-0.84 Hz. Arasında değiştiği görülmektedir. Model 1 silosunun farklı cidar kalınlıkları için doğal frekans değerleri incelendiğinde cidar kalınlığı arttıkça doğal frekans değerinin arttığı, bu durumda silonun olası zemin titreşimlerine karşı daha güçlü davranacağı söylenebilir. Mod şekilleri incelendiğinde Şekil 3'teki mod şekillerinin anti simetrik mod, Şekil 4 teki mod şekillerinden 1-4. mod

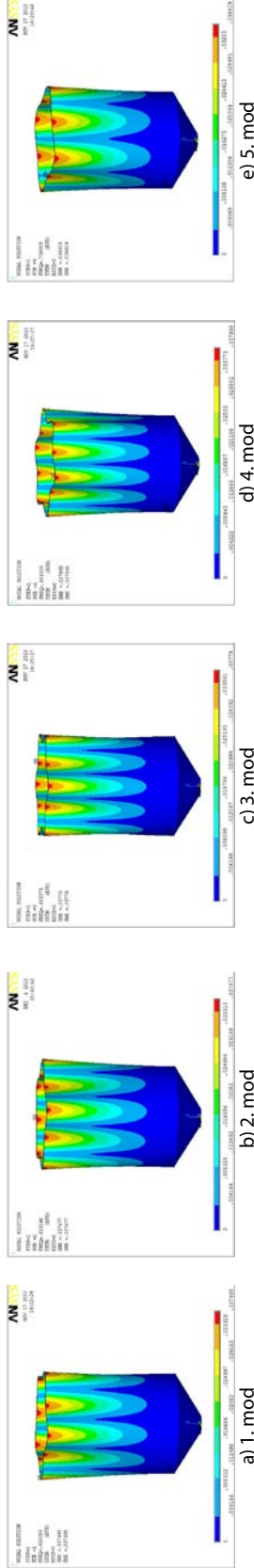
anti-simetrik, 5. mod burulma modu olduğu, Şekil 5 teki mod şekillerinden 1-4. mod burulma ve 5. modun simetrik mod olduğu gözlemlenmiştir. He and Fu (2001) farklı cidar kalınlıklarında frekans ve simetri değişiminin yapının dinamikleri ve fiziksel ayrışma ile ilgili olduğunu belirtmektedir.

Çizelge 4. Model 1 silosuna ilişkin doğal frekanslar
Table 4. Natural frequencies of the model 1 silo

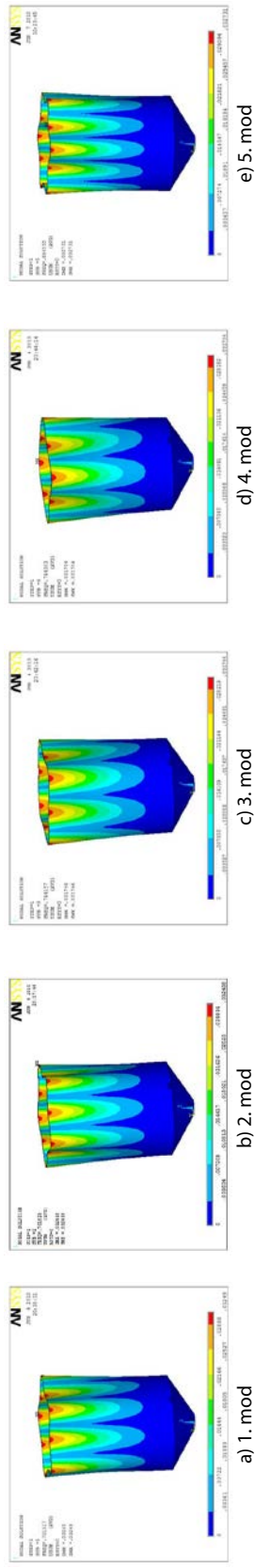
Mod No	Doğal frekans (Hz.)		
	10	15	20
1	0.5518	0.6150	0.7015
2	0.5530	0.6151	0.7018
3	0.5538	0.6833	0.7641
4	0.5569	0.6843	0.7643
5	0.6629	0.7368	0.8445



Şekil 3. Model 1 silosu modal analiz mod şekilleri (10 mm).
Figure 3. Model 1 silo modal analysis mode shapes (10 mm).



Şekil 4. Model 1 silosu modal analiz mod şekilleri (15 mm).
Figure 4. Model 1 silo modal analysis mode shapes (15 mm).



Şekil 5. Model 1 silosu modal analiz mod şekilleri (20 mm).
Figure 5. Model 1 silo modal analysis mode shapes (20 mm).

Model 2 silosunun modal analiz sonucuna göre mod şekillerinin doğal frekansları birbirinden farklılık göstermiştir (Çizelge 5). Maksimum frekans değeri 20 mm cidar kalınlığında 5. modda 1.28 Hz., minimum frekans değeri ise 10 mm cidar kalınlığında 1. ve 2. modda 0.74 Hz. olarak belirlenmiştir. Çizelge 5 incelendiğinde cidar kalınlığının artışı ile doğal frekans değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Mod şekilleri açısından değerlendirme yapıldığında 1, 2, 3 ve 4. mod şekli anti-simetrik, 5. mod simetrik (Şekil 6), 1, 2, 3 ve 4. modlar simetrik, 5. mod burulma (Şekil 7), 1 ve 2. mod anti-simetrik, 3 ve 4. modlar burulma, 5. modun simetrik mod (Şekil 8) olduğu belirlenmiştir. Model 2 silosunda herbir doğal frekans değerinin farklı mod şekillerini meydana getirdiği tespit edilmiştir. Çalışmamızda elde edilen sonuca yönelik benzer değerlendirmeler He and Fu (2001) tarafından da bildirilmiştir. Dooms et al. (2006a), 25m yüksekliğinde, 5.5m çapında huni geçişli bir siloda her 2.5cm yükseklikte farklı cidar kalınlıkları uygulamışlar ve çalışma sonucunda farklı yüksekliklerde, değişik frekans değerleri ve mod şekilleri elde etmişlerdir.

Model 3 silosunun farklı cidar kalınlığına (10, 15, 20 mm) ilişkin doğal frekansları 0.59-1.01 Hz. arasında değişim gösterdiği saptanmıştır (Çizelge 6). Herbir doğal frekansın neden olduğu yapısal deformasyonlara ilişkin mod şekilleri Şekil 9, 10 ve 11 de verilmiştir. Mod şekilleri olarak 1, 2 ve 5. modlar simetrik, 3 ve 4. modlar anti-simetrik (Şekil 9), 1 ve 2. modlar anti-simetrik, 3, 4 ve 5. modlar simetrik (Şekil 10) ve 1. mod burulma, 2. mod anti-simetrik, 3 ve 4. modların simetrik mod olduğu 5. modda ise yatay doğrultuda hareketlenmenin olduğu (Şekil 11) durumlar elde edilmiştir. Şekiller incelendiğinde silo cidarı üzerinde deformasyona bağlı olarak doğal frekanslar ve mod şekilleri arasında farklılaşmalar ortaya çıkmıştır. Bu farklılaşmalar da farklı mod şekillerinin meydana gelmesine neden olmuştur. 3 farklı cidar kalınlığında silo yapısının doğal frekansı ve mod şekillerinin farklılaşmasına silo yapısının kütlesi, rijitliği ve sönümlenmesinin etkili olduğu söylenebilir.

Çalışma kapsamında elde edilen modal analiz sonuçlarına ilişkin mod şekilleri Dooms et al. (2006a; 2006b), Holler and Meskouris (2006), Azadi ve Soltani (2010) tarafından elde edilmiş sonuçlarla benzerlik

göstermektedir. Singh et al. (2008) farklı yükseklik/çap oranlarında siloda modal analiz sonucunda doğal frekans değişimini incelemişler ve sonuç olarak yükseklik/çap oranının artması ile silonun doğal frekanslarının arttığını belirlemişlerdir. Bu çalışmaya benzer sonuçlar Moeini and Ahmadian (2009) tarafından da bulunmuştur. Bu çalışma da yükseklik/çap oranının (Model 1 için 3, Model 3 için 3.5, Model 2 için 3.75) artmasıyla doğal frekanslar da artış olduğu gözlemlenmiştir. He and Fu (2001) modern sonlu eleman analizi ile modal analize ilişkin yapılan teorik çalışmaların yüksek derecede sonuç verdiğinden güvenle kullanılabileceğini açıklamışlardır.

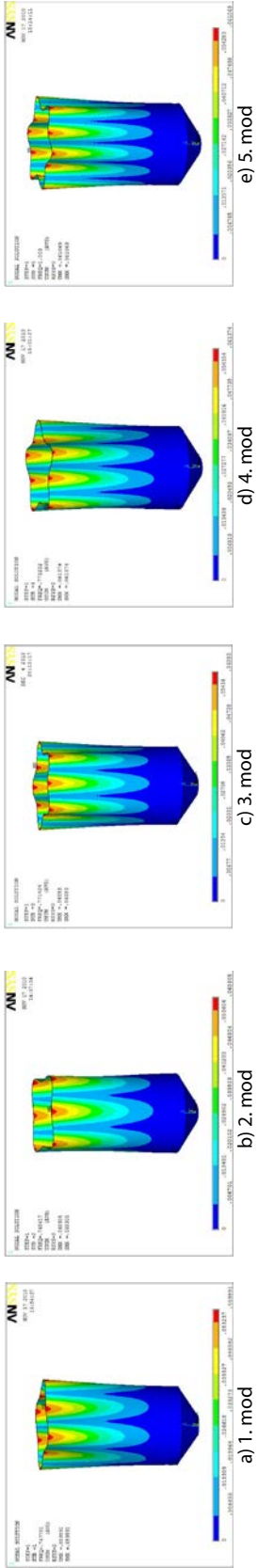
Silo doğal frekansları, model, cidar kalınlığı ve mod no ($P < 0.001$) göre önemli düzeyde farklılık göstermiştir. Model 1, 2 ve 3' e ilişkin frekans değerleri ve Mod no'lar arasındaki farklılıklar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P < 0.05$). İncelenen model*mod no interaksiyonu arasındaki ilişki istatistiksel olarak $P < 0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 5. Model 2 silosuna ilişkin doğal frekanslar
Table 5. Natural frequencies of the model 2 silo

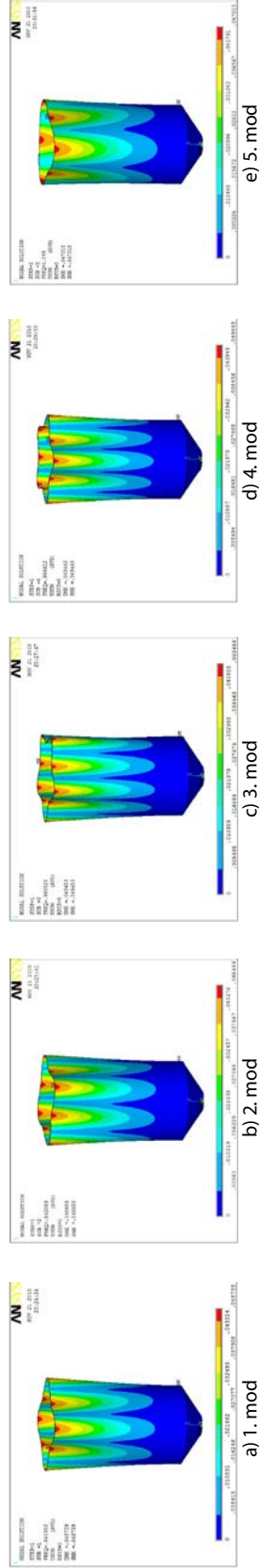
Mod No	Doğal frekans (Hz.)		
	10	15	20
1	0.7477	0.8415	0.9804
2	0.7484	0.8420	0.9810
3	0.7714	0.9955	1.1330
4	0.7732	0.9966	1.1340
5	1.0030	1.0990	1.2820

Çizelge 6. Model 3 silosuna ilişkin doğal frekanslar
Table 6. Natural frequencies of the model 3 silo

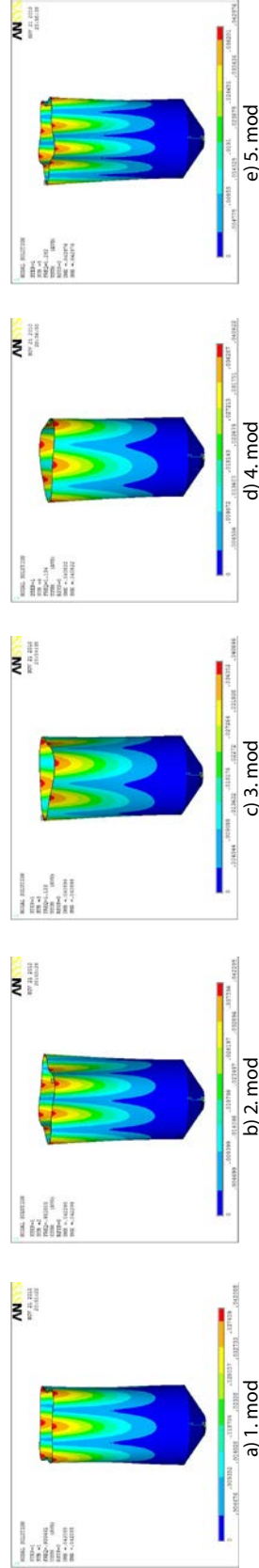
Mod No	Doğal frekans (Hz.)		
	10	15	20
1	0.5973	0.6949	0.7557
2	0.5987	0.6951	0.7560
3	0.6549	0.7097	0.8594
4	0.6554	0.7109	0.8600
5	0.7194	0.9143	1.0180



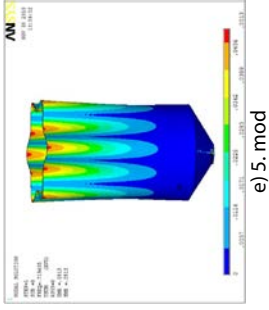
Şekil 6. Model 2 silosu modal analiz mod şekilleri (10 mm).
Figure 6. Model 2 silo modal analysis mode shapes (10 mm).



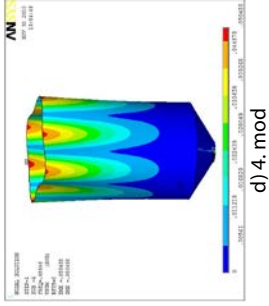
Şekil 7. Model 2 silosu modal analiz mod şekilleri (15 mm).
Figure 7. Model 2 silo modal analysis mode shapes (15 mm).



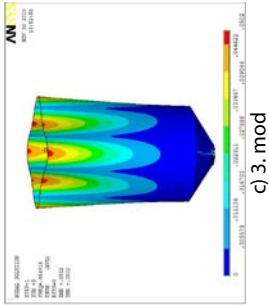
Şekil 8. Model 2 silosu modal analiz mod şekilleri (20 mm).
Figure 8. Model 2 silo modal analysis mode shapes (20 mm).



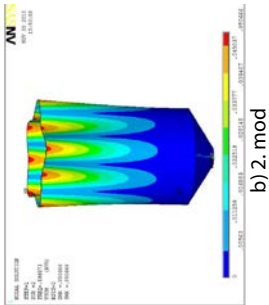
e) 5. mod



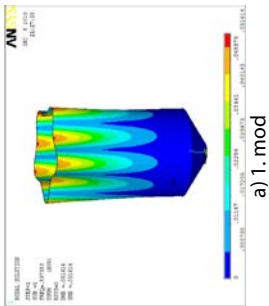
d) 4. mod



c) 3. mod

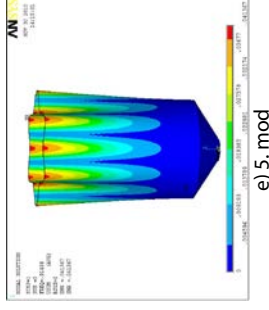


b) 2. mod

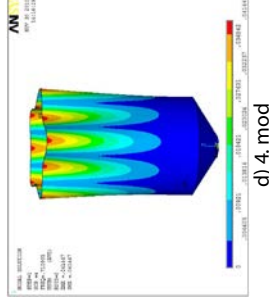


a) 1. mod

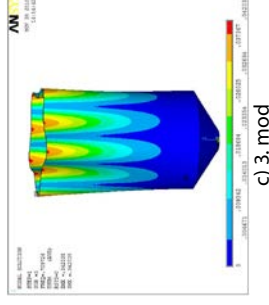
Şekil 9. Model 3 silosu modal analiz mod şekilleri (10 mm).
Figure 9. Model 3 silo modal analysis mode shapes (10 mm).



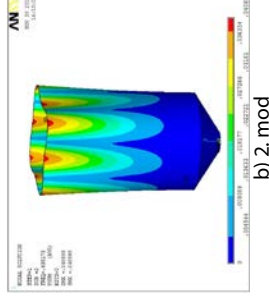
e) 5. mod



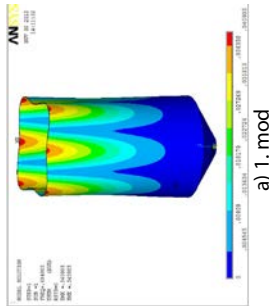
d) 4. mod



c) 3. mod

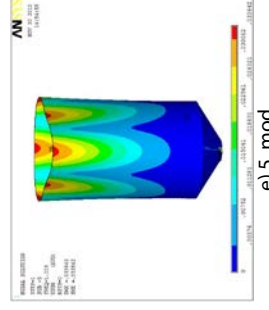


b) 2. mod

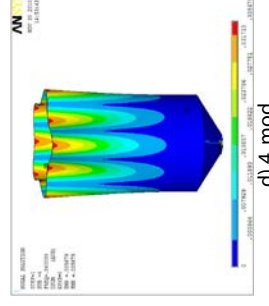


a) 1. mod

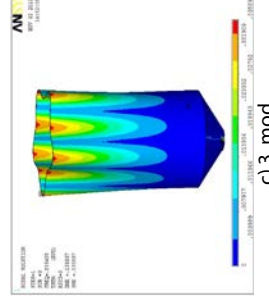
Şekil 10. Model 3 silosu modal analiz mod şekilleri (15 mm).
Figure 10. Model 3 silo modal analysis mode shapes (15 mm).



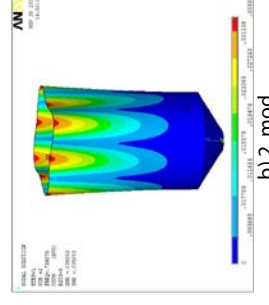
e) 5. mod



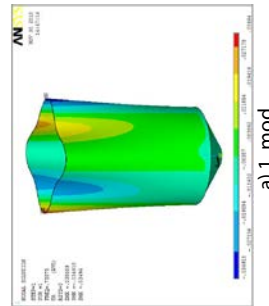
d) 4. mod



c) 3. mod



b) 2. mod



a) 1. mod

Şekil 11. Model 3 silosu modal analiz mod şekilleri (20 mm).
Figure 11. Model 3 silo modal analysis mode shapes (20 mm).

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan modal analiz sonuçlarına göre, farklı cidar kalınlıklarında üç tip model silonun farklı mod değerlerinde birbirinden farklı değişim gösterdikleri ve 5 farklı moddaki frekans değerleri belirlenmiştir. Farklı cidar kalınlıklarında, modal analiz sonuçlarına göre doğal frekans değerleri cidar kalınlığının artışı ile artmıştır. Buna bağlı olarak da modellerin bazı mod şekilleri aynı olurken bazıları da farklılık göstermiştir. Modellerde cidar kalınlığının artması ile silo cidarında meydana gelebilecek yer değiştirme ve von Mises gerilmeleri ile bunlara bağlı olarak kayma gerilmeleri gibi tasarım

parametrelerinin cidar üzerinde daha az bir etkiye sahip olduğu gözlenmiştir.

Çalışmada, tasarım aşamasındaki silo yapısının dinamik karakteristiği ile ilgili bilgilere (doğal frekansları, mod şekilleri) bilgisayar ortamında yapılan modelleme ve analiz sonucuna kısa bir sürede erişilebileceği ortaya konulmuştur. Ayrıca silo yapısının, ortam titreşimi ve ürünün neden olacağı aşırı yük nedeniyle tasarım aşamasında simülasyonlarının yapılması, taşıyıcı sistem yönünden konstrüksiyona yönelik aksaklıkların önceden giderilmesi açısından önemli kolaylıklar sağlayabilir.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2011. TÜMAS - Meteorolojik veri arşiv sistemi. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, <http://tumas.dmi.gov.tr/wps/portal/>. Erişim: Nisan 2011.
- Anonim, 2013. Türkiye’ de yetişen önemli fındık çeşitleri. <http://www.habule.com/Trabzon/findik.htm>. Erişim: Haziran 2013.
- Ayuga, F., P. Aguado, E. Gallego, and A. Ramírez. 2006. Experimental tests to validate numerical models in silos design. An ASABE Meeting Presentation Paper Number: 064002.
- Azadi, R.E, and A.A. Soltani. 2010. The Effects of soil-foundation-structure interaction on the dynamic response of delijan cement-storage silo under earthquake loading. *15G*, 659-676.
- Dooms, D., G. Degrande, G. De Roeck, and E. Reynders. 2006a. Finite element modelling of a silo based on experimental modal analysis. *Engineering Structures*, 28(4): 532-542.
- Dooms, D., G. Degrande, G. De Roeck, and E. Reynders. 2006b. Influence of the group positioning of cylinders on the wind pressure distribution in the post-critical regime. European Conference on Computational Fluid Dynamics, TU Delft, The Netherlands, pp.1-20.
- Eurocode 3, 2004. Design of steel structures (EN 1993-1-3), Part 1-3: General Rules- Supplementary Rules for Cold Formed Thin Gauge Members and Sheeting. European Committee for Standardisation, Brussels.
- He, J., and F. Zhi-Fang. 2001. Modal Analysis. Butterworth-Heinemann Linacre House, Jordan Hill, Oxford, p.375.
- Holler, S., and K. Meskouris. 2006. Granular material silos under dynamic excitation: numerical simulation and experimental validation. *Journal of Structural Engineering*, 132(10): 1573-1579.
- Hüner, İ., 2006. Çimento silosunun statik ve dinamik analizleri. Yüksek Lisans Tezi (Basılmamış), Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Juan, A., J.M. Moran, M.I. Guerra, A. Couto, F. Ayuga, and P.J. Aguado. 2006. Establishing stress state of cylindrical metal silos using finite element method: Comparison with ENV 1993. *Thin-Walled Structures*, 44: 1192-1200.
- Kılıç, O., 2002. Fındık alanlarının daraltılması ve alternatif ürünlerle ilgili uygulamalar. Türkiye’ de Uygulanan Fındık Politikaları ve Fındığın Geleceği Konferans-Panelli, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Samsun.
- Kibar, H., 2006. Bazı fındık çeşitlerinde ürün nem kapsamı ile depolamada etkili ürün şev karakteristikleri arasındaki ilişkiler. Yüksek Lisans Tezi (Yayınlanmamış), Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Michel, G., J.F. Jullien, and J.M. Rotter. 2004. Cylindrical shells under global shear loading. *Buckling of Thin Metal Shells*, Spon Press, pp 230-260.
- Moeini, S.A., and M.T. Ahmadian. 2009. Structural analysis of stiffened fgm thick walled cylinders by application of a new cylindrical super element. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 58: 116-121.
- Petyt, M., 1990. Introduction to Finite Element Vibration Analysis, Cambridge University Press, Cambridge.
- Özel, K., 2007. Çelik hububat silolarının tasarım esasları. Yüksek Lisans Tezi (Yayınlanmamış), Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Singh, J., V.R. Sharma, and N.K. Khullar. 2008. Analysis of hopper bottom cylindrical silos subjected to earthquakes. The 12th International Conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG) (1-6 October 2008), Goa, India, pp 2595-2603.
- TÜİK, 2013. Bitkisel üretim istatistikleri. <http://tuikapp.tuik.gov.tr/bitkiselapp/bitkisel.zul>. Erişim: Haziran 2013.
- Vidal, P., M. Guaita, and F. Ayuga. 2004. Simulation of discharging processes in metallic silos. An ASABE Meeting Presentation Paper Number: 044151.
- Vidal, P., E. Gallego, M. Guaita, and F. Ayuga. 2006. Simulation of the filling pressures of cylindrical steel silos with concentric and eccentric hoppers using 3-dimensional finite element models. *Transactions of the ASABE*, 49(6): 1881-1895.