



Farklı Standartlara Göre Fındık Depolamada Silo Cidarı Üzerindeki Gerilme Değişimlerinin ANSYS İle İncelenmesi (*)

Hakan KİBAR^{1*} Turgut ÖZTÜRK²

¹Iğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Iğdır

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

*email: hakan.kibar@igdir.edu.tr

Alındığı tarih (Received): 29.09.2013

Online baskı tarihi (Printed Online): 08.11.2013

Kabul tarihi (Accepted): 05.11.2013

Yazılı baskı tarihi (Printed): 06.12.2013

Özet: Bu çalışmada Giresun ili koşullarında tombul fındık depolamasında kullanılabilecek silindirik gövdeli, konik çıkış ağızlı, çelik konstrüksiyonlu optimum silo boyutları araştırılmıştır. Çalışmada 1635 ton depolama kapasitesine sahip silo için 10, 11, 12, 13, 14, 15 ve 20 mm cidar kalınlıkları ele alınmıştır. Bu amaçla Eurocode 1 ve Avustralya standartları kullanılarak silo cidarı yüzeyine etki eden basınç yükleri doldurma ve boşaltma koşullarında (düşey, yatay, sürtünme çekmesi basınç yükü) farklı cidar kalınlıkları için hesaplanmış ve hesaplanan bu basınç yükleri ANSYS 14.0 sonlu eleman yazılım programına girilerek cidar yüzeyinde farklı doğrultularda meydana gelen gerilmeler saptanmıştır. Çalışma sonuçları değerlendirildiğinde düşey basınç yükünün neden olduğu gerilmeler açısından doldurma koşullarında 10, 11 ve 12 mm cidar kalınlıklarının emniyetli olmadığı belirlenmiştir. Herhangi bir yapısal soruna neden olmayacak optimum cidar kalınlığı; depolama kapasitesi ve maksimum von Mises gerilmeleri göz önüne alındığında 13 mm cidar kalınlığının uygun olduğu saptanmıştır. Silindirik gövdeli ve konik çıkış ağızlı Tombul fındık depolamasında kullanılabilecek bu silo, mühendislik açısından en uygun özellikleri ortaya koymaktadır. Önerilen bu silo tipinin silo cidarı yüzeyine etki eden basınç yükleri açısından Avustralya standardına (AS 3774) göre yapılan analizi sonucunda da emniyetli olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: ANSYS sonlu eleman yazılımı, AS 3774, Eurocode 1, silo, Tombul fındık

The Investigation with Ansys of Stress Changes on Silo Wall in Hazelnut Storage According to Different Standards

Abstract: In this study, the optimal dimensions of the silo were investigated for barrel-type cylinder, conical outlet, steel construction silo which used in Tombul hazelnut storage in the Giresun province conditions. 10, 11, 12, 13, 14, 15 ve 20 mm wall thickness for 1635 tons storage capacity silo were examined in the study. For this purpose, pressure loads acting on the silo wall surface at filling and discharge conditions (vertical, horizontal, friction traction pressure load) using Eurocode 1 and Australian standards were calculated for different wall thicknesses and this calculated pressure loads by entering in ANSYS finite element software program, stresses which occurring in different directions on the surface of wall was determined. Results the study, it was determined that 10, 11 and 12 mm wall thickness were not reliable in terms of stresses caused vertical pressure load in the filling conditions. The optimum wall thickness will not lead to any structural problem are emerging as the silo which was found to be suitable 13 mm wall thickness when considering storage capacity and the maximum von Mises stresses. This silo using Tombul hazelnut storage with barrel-type cylinder and conical outlet shows the most appropriate features in terms of engineering. At the result of the analysis according to Australian standard (AS 3774) of proposed this type of silo in terms of pressure loads acting on the surface of the silo wall was observed to be reliable.

Keywords: ANSYS finite element software, AS 3774, Eurocode 1, silo, Tombul hazelnut

1.Giriş

Fındık, badem'den sonra dünyada en yaygın yetiştiriciliği yapılan sert kabuklu bir meyvedir. Fındığın kültür çeşitleri Türkiye, İtalya, İspanya,

(*) Bu çalışma doktora tezinin bir bölümüdür.

ABD, Çin, İran, Yunanistan, Fransa, Rusya Federasyonu, Kırgızistan, Portekiz, Beyaz Rusya, Moldova, Tacikistan, Gürcistan, Azerbaycan, Uk-

rayna, Tunus, Macaristan, Kıbrıs ve Kamerun'da yetiştirilmektedir.

Dünyada fındık tüketiminin tamamına yakın kısmı (%91), Avrupa Birliği ve diğer Avrupa ülkeleri tarafından gerçekleştirilmekte ve büyük ölçüde (%80'i) çikolata ve şekerleme sanayinde ham madde olarak kullanılmaktadır (Anonim 2010).

Türkiye'de üretilen fındığın %15-20 kadarı iç piyasada tüketilmekte, %80-85'i ise ihraç edilmektedir. Türkiye son on yıl boyunca ortalama 200 bin ton olan iç fındık ihracatı ile toplam dünya fındık ihracatının %80'ini gerçekleştirmiştir. Türkiye'nin fındık ihracatının %74'ü iç fındık olarak, %26'sı ise işlenmiş fındık olarak gerçekleştirilmiştir (DPT 2001). 2012 yılı itibarıyla Türkiye'de fındık üretimi 660000 tondur (TÜİK 2013). Ordu ilinden sonra en fazla fındık üretim miktarına Giresun ili sahiptir. 2012 yılı itibarıyla Giresun ili fındık üretimi 101532 ton'dur (TÜİK 2013). Giresun ilinde en fazla üretimi yapılan Tombul fındık ülkemizde yetişen en önemli fındık çeşididir. Giresun yöresinde yüksek bir rekoltede üretilen fındığın depolanmasında kullanılan mevcut siloların depolama kapasiteleri yetersiz kalmaktadır. Fındık üreticileri ürettikleri ürünlerini en kısa zamanda pazarladıktan sonra tüccarlar modern ve teknolojik depolama yapıları ile ilgili sorunlar yaşayabilmektedir. Çünkü ilde 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. Yöredeki fındık depolama yapıları yetersiz olduğundan bu sorunları çözebilecek ürün depolama sistemlerinden birisi olan modern silolara ihtiyaç duyulmaktadır. İhtiyaç duyulan bu siloların inşasından önce tüm yönleriyle yapısal analizlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir (Kibar 2011). Başarılı bir fındık depolanması için uygun depolama sıcaklığının 0 - 4 °C arasında değiştiği, bazı durumlarda ise sıcaklığın - 3 °C ya kadar düşürülmesinin daha iyi sonuç verdiği bildirilmektedir. Serin, kuru ve havalanabilir nitelikteki depo koşullarında fındık,

en fazla bir yıl özelliği bozulmadan muhafaza edilebilir. Bir yıldan daha uzun bir süre muhafaza için sıcaklığın 0 - 4 °C, bağıl nemin de %60-65 arasında olması gerekmektedir.

Çelik silolar beton silo yapılarına oranla daha hafif yapılar olduğundan, ürünü 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. Son yıllarda madencilik, kimya, tarım ve gıda gibi birçok sanayi alanında geniş bir kullanım alanı bulmuştur. 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; Gökalp and Bundy 2010).

Silo tasarımı için kullanılabilen farklı standartlar ve kuralların her biri teorik ve ampirik yöntemlere dayalıdır. Hemen hemen her standart denklemlerde silo cidarları ile temas halinde bulunan malzemenin yatay basıncına dayalı önerilen Janssen (1895) teorisini kullanılır. Bu teoride yapı üzerine etkiyen depolanmış ürünün etkileri silo hidrolik yarıçapı, ürün birim ağırlığı, ürün içsel sürtünme açısı, cidar sürtünme katsayısı ve basınç oranına (k katsayısı) bağlıdır. Bu alanda farklı ülkelerde farklı standartlar (ACI 313 1977; DIN 1055 1987; AS 3774 1996; Eurocode 1 2003 vb.) geliştirilmiştir (Kibar ve Öztürk 2011). Son olarak geliştirilen Eurocode 1 (Bölüm 4) standardı dahil olmak üzere bütün ülkelerin ve kurumların standartlarına dayanmaktadır (Eurocode 1 2003).

Bu çalışma kapsamında farklı cidar kalınlıklarına sahip çelik konstrüksiyonlu bir silo, Eurocode 1 ve AS 3774 standartları kullanılarak ANSYS 14.0 sonlu eleman programı ile modellenmiştir. Modellenen silonun sonlu eleman programında gerilme analizi yapılarak farklı doğrultularda meydana gelen gerilme değişimleri incelenerek Eurocode 1 ve AS 3774'e göre optimum cidar kalınlığı belirlenmeye çalışılmıştır. Bu çalışma sayesinde silo yapısının farklı cidar kalınlıklarında çeşitli noktalarının

zorlanabileceği hareketler ve bölgeler tespit edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Araştırma alanı olan Giresun ili 40° 55' kuzey enlemi ve 38° 23' doğu boylamı arasında yer almaktadır. Çalışma kapsamında, Giresun ili koşullarında Tombul fındık depolamasında kullanılması planlanan silindirik gövdeli ve konik çıkış ağızlı çelik konstrüksiyon silo ele alınmıştır. Söz konusu siloya ilişkin kesit ve konstrüksiyon malzemesine yönelik özellikler Çizelge 1'de verilmiştir. Çalışmada ticari olarak işletilen silolar dikkate alınmış olup seçilen boyutlara bağlı olarak 1635 ton depolama kapasitesi kullanılmıştır. Tombul fındık çeşidi ile ilgili mühendislik özellikler Çizelge 2'de verilmiştir. Tombul fındık çeşidi kullanılmasının nedeni en kaliteli fındık çeşitlerinden birisi olarak yörede yoğun yetiştiriciliğinin yapılması, işleme ve ihracat süresince depolama ihtiyacının ortaya çıkmasıdır.

Silo cidarına etki eden yüklerin belirlenmesinde kuramsal açıdan Eurocode 1 (2003) (Yapıların Projelendirme ve Etki Esasları, Bölüm:4 Silo ve Tank Etkileri) ve AS 3774 (1996) (Katı Yığın Siloları Üzerindeki Yükler) standartları esas alınmıştır. Çalışmada bu standartların seçilmesindeki temel yaklaşım Eurocode 1 ve AS 3774'in geniş bir coğrafyada kullanılması ve farklı esaslara dayandıklarından kuramsal açıdan kıyaslama olanağının olmasıdır.

Optimum silo cidar kalınlığı Eurocode 1 (2003)'e göre belirlenmiştir. Bunun temel nedeni Avrupa Birliği ülkelerinde yaygın olarak bu standardın kullanılmasıdır. Ayrıca Eurocode 1 (2003)'e göre elde edilen optimum silo cidar kalınlığı, sonuçların daha iyi değerlendirilmesi açısından da yine dünyada yaygın olarak kullanılan Avustralya standardı AS 3774 (1996)' ya göre de değerlendirilmiş ve buna bağlı basınç yükleri hesaplanmıştır. Hesaplamalarda kullanılan Eurocode 1 (2003) ve AS 3774 (1996)' ya ilişkin eşitlikler Kibar (2011)'de ayrıntılı olarak verilmiştir. Elde edilen değerlere dayalı olarak ANSYS 14.0 programıyla simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Bu simülasyonlar sonucunda

her iki standarda göre elde edilen sonuçların karşılaştırılmalı analizleri yapılmıştır.

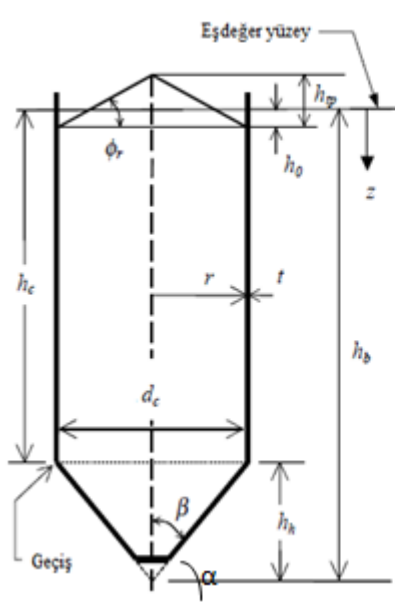
Çalışmada cidar malzemesi olarak kullanılan malzemenin temel özellikleri, Eurocode 3' te esasları belirtilen çelik yapıların tasarım standardı temel alınarak belirlenmiştir (Eurocode 3 2004). Çalışmada cidar malzemesi olarak silo inşasında ve araştırmalarda yaygın bir şekilde kullanılan S235 çeliği, Vidal et al. (2004), Ayuga et al. (2006), Vidal et al. (2006) tarafından yapılmış çalışmalar da göz önüne alınarak belirlenmiştir. Silo konstrüksiyon malzemesine yönelik özellikler Çizelge 1'de verilmiştir.

Çalışmada analiz türü olarak ANSYS 14.0 programında yapısal (structural) analiz kullanılmıştır. Ele alınan silo m ve kPa birimleri ile ANSYS ön işlemcisi kullanılarak oluşturulmuştur. Eleman tipi olarak ANSYS 14.0 (2013) eleman kütüphanesinden 3 boyutlu, 20 düğümlü ve 6 serbestlik derecesine sahip eleman kullanılmıştır. Yapılan ön analizlerde, kullanılacak S235 çeliğinin karakteristiğini en iyi yansıtması ve en iyi sonuç bu eleman tipinde belirlendiğinden dolayı bu eleman kullanılmıştır. Çalışmada çelik malzemenin (S235) homojen ve izotrop olduğu kabul edilmiş ve elastik duruma göre analiz yapılmıştır. Bu bağlamda malzeme özellikleri;

Elastisite modülü	: 2.1×10^8 kPa
Poison oranı	: 0.3
Birim ağırlık	: 78.5 kN.m^{-3}
olarak kabul edilmiştir (Eurocode 3, 2004).	

Silonun elemanlara bölünmesi işlemi, model sürekliliğinin belirli sayıdaki ayrı parçalara veya diğer bir ifade ile sonlu elemanlara bölünmesidir. Silonun elemanlara bölünmesi kullanıcı tarafından tek tek tanımlanarak yapılabileceği gibi ANSYS tarafından uygun seçenekler kullanılarak otomatik olarak da yapılabilir. Silonun elemanlara (mesh) ayrılmış görünümü Şekil 2'de verilmiştir.

Çalışmada ele alınan silonun mesnetleme noktaları ise Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Silo kesit geometrisi

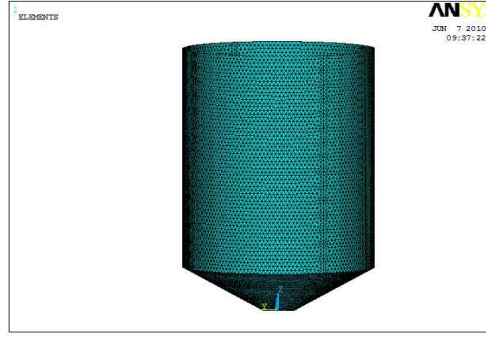
Figure 1. Cross-sectional geometry of the silo

- 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_p : 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 yüzey)'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 : Silolanın malzeme şev açısı, derece

Çizelge 1. Silonun kesit ve konstrüksiyon malzemesi özellikleri

Table 1. The cross-section and construction material properties of silo

Silo boyutsal özellikleri	Silo konstrüksiyon malzemesi özellikleri
d_c : 12 m h_c : 30 m h_b : 36 m h_h : 6 m h_o : 0.8 m r : 6 m t : 10, 11, 12, 13, 14 15, 20 mm α : 58° β : 32° V_s : 1635 ton -Kesit geometrisine göre silo tipi: $h_c/d_c = 30/12 = 2.5 \geq 2.0$ olduğundan narin silodur (Eurocode 1 2003). -Etki Değer Sınıfı: Tombul fındık çeşidi için silolanacak ürün miktarı yaklaşık 1635 ton'dur. Buna göre $1635 \text{ ton} < 10.000 \text{ ton}$ olduğundan etki değer sınıfı 2'dir. (EDS=2). -Huni tipi: $\tan 32 < (1-0.5)/(2 \times 0.185)$ şartı sağlandığından dik hunidir.	- Gövde malzemesi: Galvaniz kaplı karbon S235 çeliği (D2) Elastisite modülü : 2.1×10^8 kPa Poison 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



Şekil 2. Silonun elemanlara (mesh) ayrılması
Figure 2. The silo elements (mesh) separation

Çizelge 2. Tombul fındık ile ilgili fiziko-mekanik özellikler (Kibar, 2006)

Table 2. The physical-mechanical properties related to Tombul hazelnut (Kibar, 2006)

Fiziko - mekanik özellikler	Birim	Değer
Birim hacim ağırlığı, γ_m	kg m^{-3}	451,8
İçsel sürtünme açısı, φ_m	$^\circ$	29,8
Statik sürtünme katsayısı, μ_m		0,204
Basınç oranı, K_m		0,55

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada gerilme dağılımı doldurma ve boşaltma koşullarında incelenmiştir. Bu amaçla doldurma koşullarında düşey basınç ve sürtünme çekmesi, boşaltma koşullarında ise yatay basınç ve sürtünme çekmesi basınç yükü ele alınarak gerilme dağılımları incelemiş ve optimum cidar kalınlığı belirlenmeye çalışılmıştır.

Doldurma koşullarında düşey basınç yükünün neden olduğu von Mises gerilme değerleri 10 mm için 622075 kPa, 11 mm için 411335 kPa, 12 mm için 340553 kPa ve 13 mm için 151764 kPa' dır (Çizelge 3). Sonuçlar değerlendirildiğinde 10, 11, 12 mm cidar kalınlıklarına ilişkin gerilme değerleri çeliğin akma dayanım değeri olan 188000 kPa'dan büyük olması bu siloların emniyetli olmadığını göstermektedir. Optimum cidar kalınlığı olan 13 mm cidar kalınlığına sahip silonun gerilme dağılımları Şekil 4'te verilmiştir.

Söz konusu silo için doldurma koşullarında düşey basınç yükünün neden olduğu gerilmeler,

farklı bir bakış açısı oluşturması açısından Avustralya standardına (AS 3774) göre de analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 3'te ve grafiksel olarak Şekil 5'te verilmiştir. Analiz sonucunda tüm doğrultularda elde edilen gerilmelerin emniyet sınırları (yani çeliğin akma dayanımından küçük olduğu) içerisinde olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada Eurocode göre bazı gerilmelerde (X, Y ve Z yönünde) maksimum gerilmenin çekme gerilmesi olduğu, Avustralya standardında maksimum gerilmenin ise basma gerilmesi olduğu görülmüştür. Avustralya standardında von Mises gerilmesi 158878 kPa olarak saptanmıştır. Her iki standardın von Mises gerilmeleri arasındaki değişim %11.2'dir.

Doldurma koşullarında sürtünme çekmesi yükünün farklı cidar kalınlıklarında meydana getirdiği gerilmelerin oldukça düşük olması silonun bu basınç yükü açısından emniyetli olduğunu göstermektedir (Şekil 6). Maksimum von Mises gerilmesi 10 mm cidar kalınlığında 26753 kPa olarak elde edilmiştir (Çizelge 4).

13 mm cidar kalınlığında Avustralya standardına göre elde edilmiş gerilme analizi sonuçları Şekil 7’de verilmiştir. Şekil 7’nin incelenmesiyle gerilme değerlerinin her iki standartta birbirine yakın seyrettiği genelde huni çevresinde daha fazla zorlanmaların meydana geldiği görülmektedir. Avustralya standardına göre elde edilen gerilmeler yine emniyetli sınırlar içerisinde ve von Mises gerilmesi 26753 kPa olarak elde edilmiştir (Çizelge 4). Her iki standart arasındaki von Mises gerilmesi farkı %11.5 olarak belirlenmiştir.

Boşaltma koşullarında yatay basınç yükünün oluşturduğu maksimum gerilme 10 mm cidar kalınlığında meydana gelmiştir (Şekil 8). Buna göre yatay basınç yükünün cidar üzerinde oluşturduğu gerilmeler incelendiğinde maksimum gerilmeler Y yönünde meydana gelmiştir. Boşaltma koşullarında yatay basınç yükü yönünden oluşan maksimum gerilmeler, çeliğin akma dayanım değeri olan 188000 kPa’ın altında olduğundan silolar emniyetlidir (Çizelge 5).

13 mm cidar kalınlığı için Avustralya standardı kullanılarak elde edilmiş basınç yükünün cidar üzerinde meydana getirdiği gerilme dağılımları Şekil 9’da verilmiştir. Bu standarda göre belirlenen gerilmeler X, Y ve Z yönünde Eurocode’a göre farklılık göstermiştir.

Eurocode’a göre maksimum gerilmeler çekme gerilmesi olarak gözlemlenirken Avustralya standardında ise maksimum gerilmeler basma gerilmesi olarak gözlemlenmiştir. Yine farklı yöndeki gerilmeler silonun farklı bölgelerinde dağılım göstermişlerdir. Her iki standarda göre hesaplanan von Mises gerilmeleri arasındaki farklılık %8.3 olarak saptanmıştır (Çizelge 5).

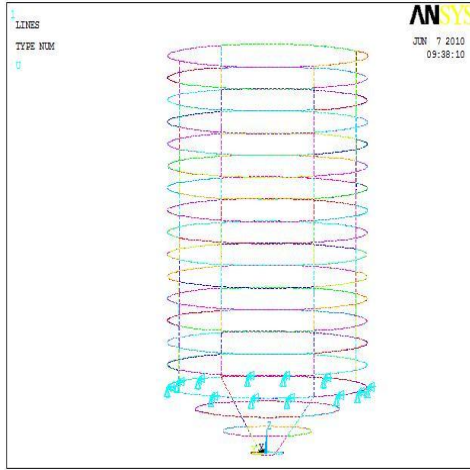
Boşaltma koşullarında sürtünme çekmesi yükünün farklı cidar kalınlıklarında meydana getirdiği gerilmelerin oldukça düşük olması siloların bu basınç yükü açısından emniyetli olduğunu göstermektedir (Şekil 10). Yine boşaltma koşullarında maksimum von Mises gerilmesi, 10 mm cidar kalınlığında 30963 kPa olarak saptanmıştır (Çizelge 6).

13 mm cidar kalınlığına sahip silonun Avustralya standardına göre sürtünme çekmesinin oluşturduğu gerilme dağılımları Şekil 11’de verilmiştir. Tüm gerilme değerleri incelendiğinde elde edilmiş sonuçlar, silonun akma dayanımının altından saptanmıştır. Maksimum gerilme Z yönünde 35946 kPa basma gerilmesi olarak belirlenmiştir. von Mises gerilmeleri arasındaki değişim ise %18.6 olarak tespit edilmiştir (Çizelge 6). Her iki standarda göre yapılan analiz sonuçlarında von Mises gerilmeleri arasındaki en fazla değişimin boşaltma koşullarında sürtünme çekmesi olduğu gözlemlenmiştir.

Rotter (1986) ve Teng and Rotter (1991) çelik bir silo üzerinde düşey basınçların tüm doğrultularda (X, Y, Z, vb.) meydana geldiğini ve geçişte zorlamalara neden olduğunu ayrıca bu zorlamanın yüksek lokal basınçlara yol açarak siloda yapısal sorunların ortaya çıktığını belirtmişlerdir. Mark et al. (1999), doldurma esnasında sürtünme çekmesinin silo yüksekliğinin artışı ile arttığını ve sürtünme çekmesi basınç yükünün oluşturduğu gerilmelerin silo yüksekliğinin 1, 1,5 ve 2 m’de değişmediğini 0.5 m yükseklikte değişim gösterdiğini saptamışlardır.

Vidal et al. (2004), 2 m çapında, 14.5 m yüksekliğinde, 0.6 m çıkış çapında ve 2.5 mm cidar kalınlığına sahip buğday dolu çelik siloda boşaltma sürecindeki huni basınçlarının ANSYS programı ile simülasyonlarını oluşturmuşlar ve çalışma sonucunda ürünün boşaltılması esnasında geçişteki basınçların maksimum olduğunu, hunide boşaltma zamanının ilerlemesi ile gerilmelerin arttığını, farklı içsel sürtünme açılarında basınçların neden olduğu gerilmelerin değiştiğini tespit etmişlerdir.

Juan et al. (2006), farklı cidar kalınlıklarında (1, 1.5, 2 mm) huni cidarları üzerinde sürtünme çekmesinin cidarlar üzerinde meydana getirdiği gerilmeleri incelemişler ve inceleme sonucunda en düşük gerilme değerinin 2 mm cidar kalınlığında olduğunu tespit etmişlerdir.



Şekil 3. Silo mesnet noktaları

Figure 3. The silo support points

Çizelge 3. Düşey basınç yükünün silo cidarında meydana getirdiği gerilme değişimleri

Table 3. The stress changes caused by silo wall of the vertical pressure load

Standart	Silo cidar kalınlığı, mm	von Mises gerilmesi, kPa
	10	622705
	11	411335
	12	340553
Eurocode	13	151764
	14	139822
	15	128230
	20	90325
AS 3774	13	158878

Çizelge 4. Sürtünme çekmesi yükünün silo cidarında meydana getirdiği gerilme değişimleri

Table 4. The stress changes caused by silo wall of the frictional traction load

Standart	Silo cidar kalınlığı, mm	von Mises gerilmesi, kPa
	10	26753
	11	29249
	12	24242
Eurocode	13	23988
	14	22111
	15	19472
	20	13697
AS 3774	13	26753

Çizelge 5. Yatay basınç yükünün silo cidarında meydana getirdiği gerilme değişimleri

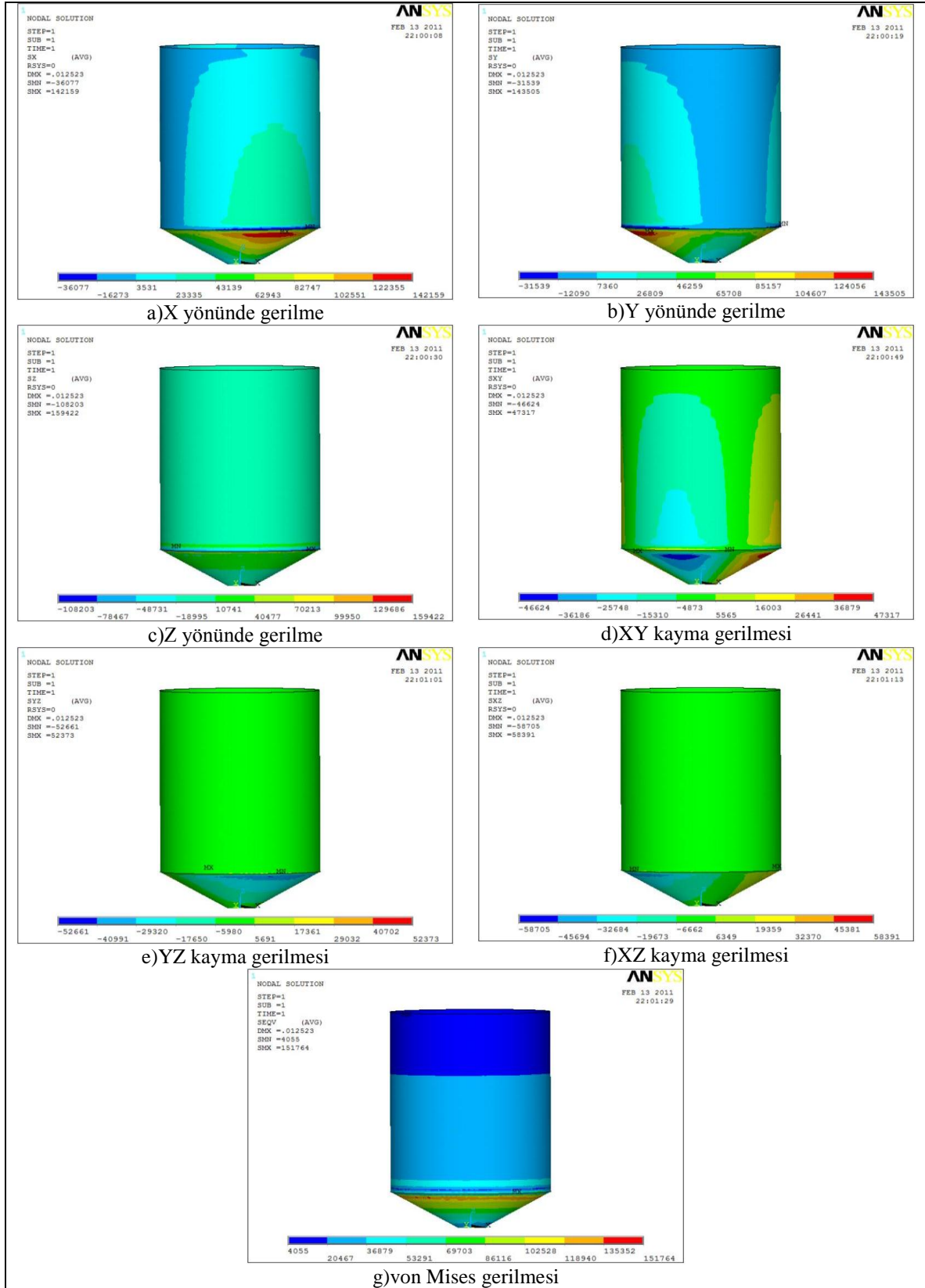
Table 5. The stress changes caused by silo wall of the horizontal pressure load

Standart	Silo cidar kalınlığı, mm	von Mises gerilmesi, kPa
	10	167403
	11	162809
	12	151647
Eurocode	13	149833
	14	138151
	15	122050
	20	85710
AS 3774	13	162620

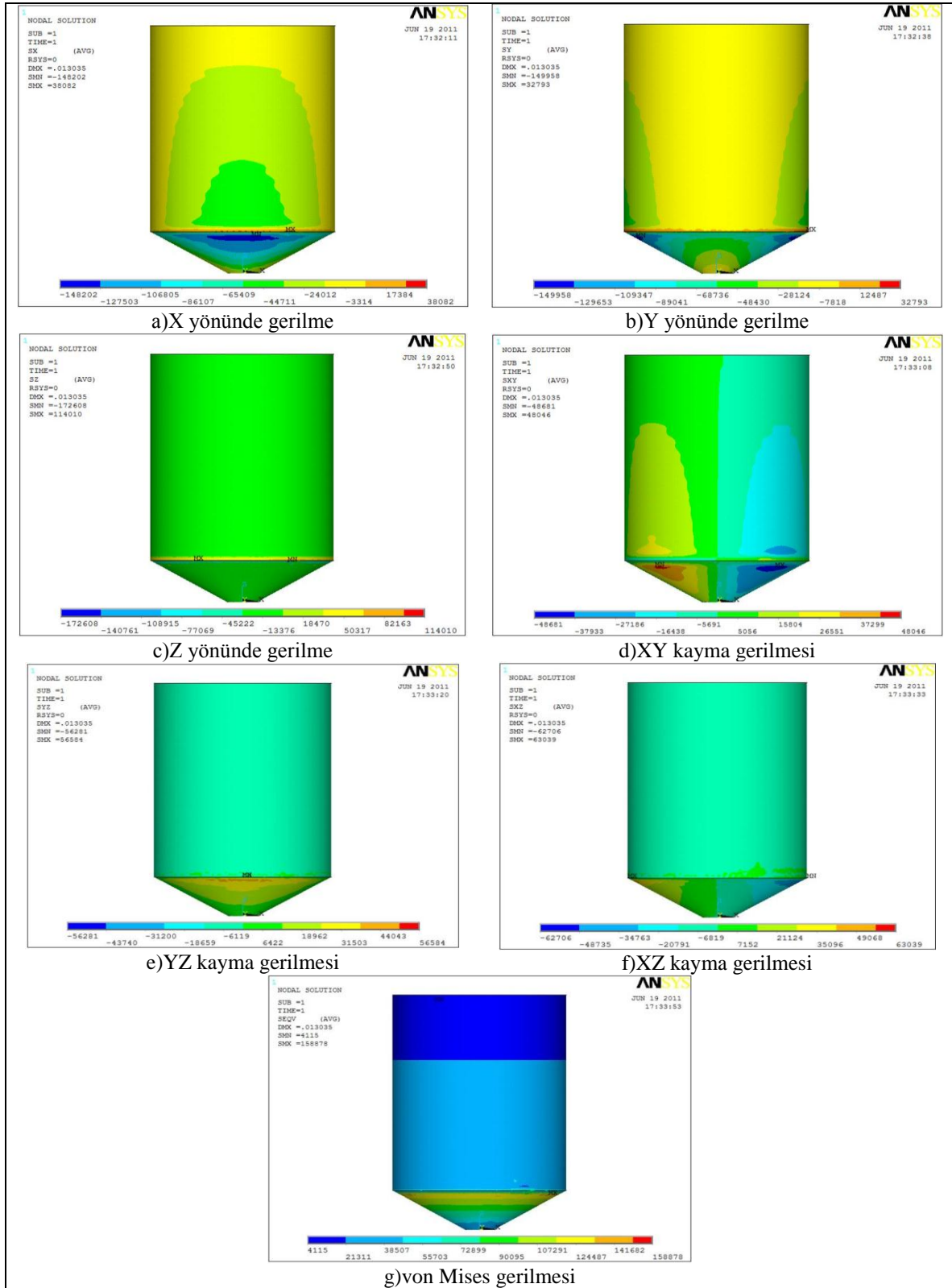
Çizelge 6. Sürtünme çekmesi yükünün silo cidarında meydana getirdiği gerilme değişimleri

Table 6. The stress changes caused by silo wall of the frictional traction load

Standart	Silo cidar kalınlığı, mm	von Mises gerilmesi, kPa
	10	30963
	11	37159
	12	30691
Eurocode	13	30455
	14	28089
	15	22558
	20	15854
AS 3774	13	36139

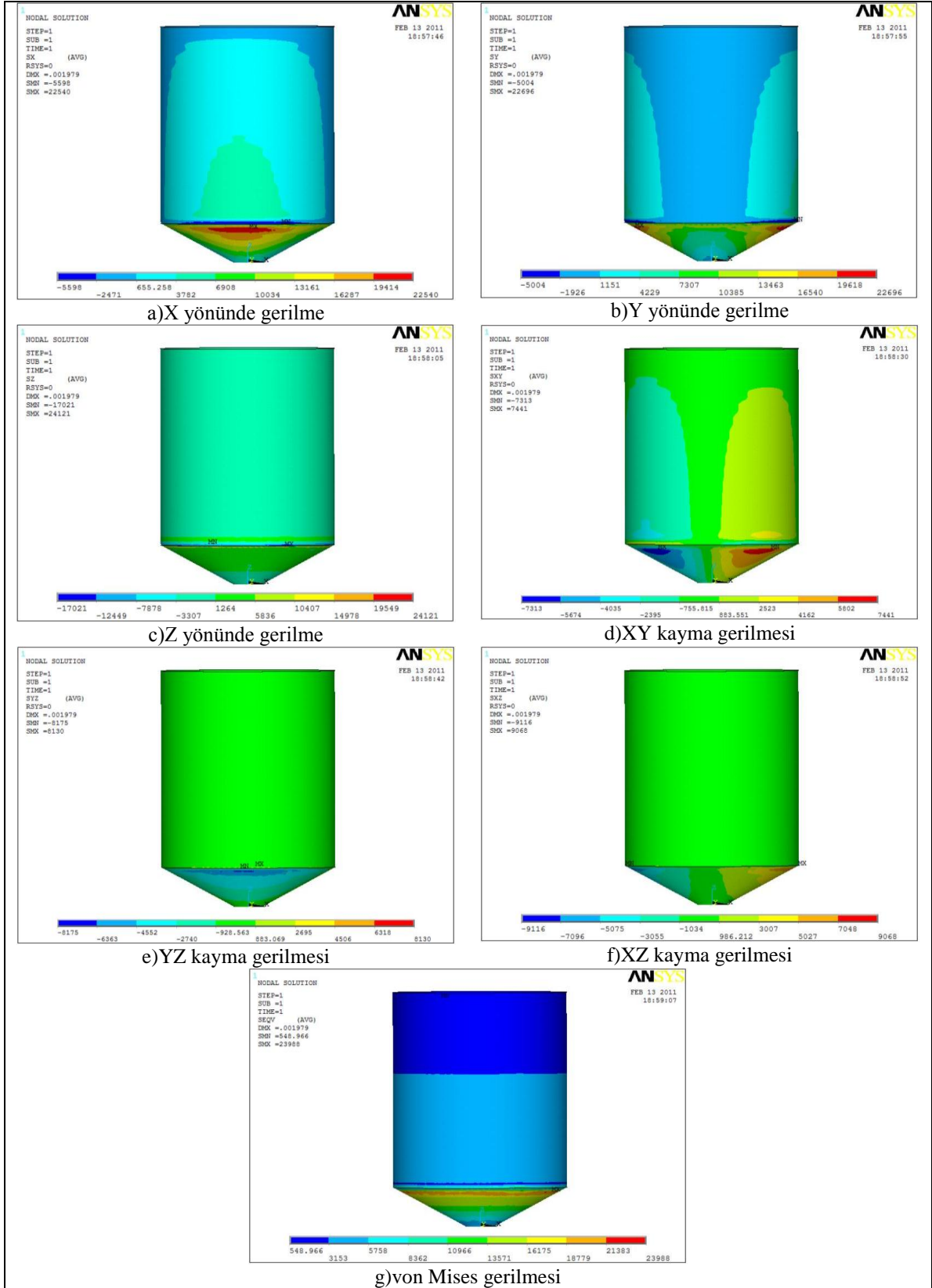


Şekil 4. Düşey basınç yükünün farklı doğrultularda oluşturduğu gerilmeler (Eurocode 1)
Figure 4. The stresses caused by different directions of the vertical pressure load (Eurocode 1)

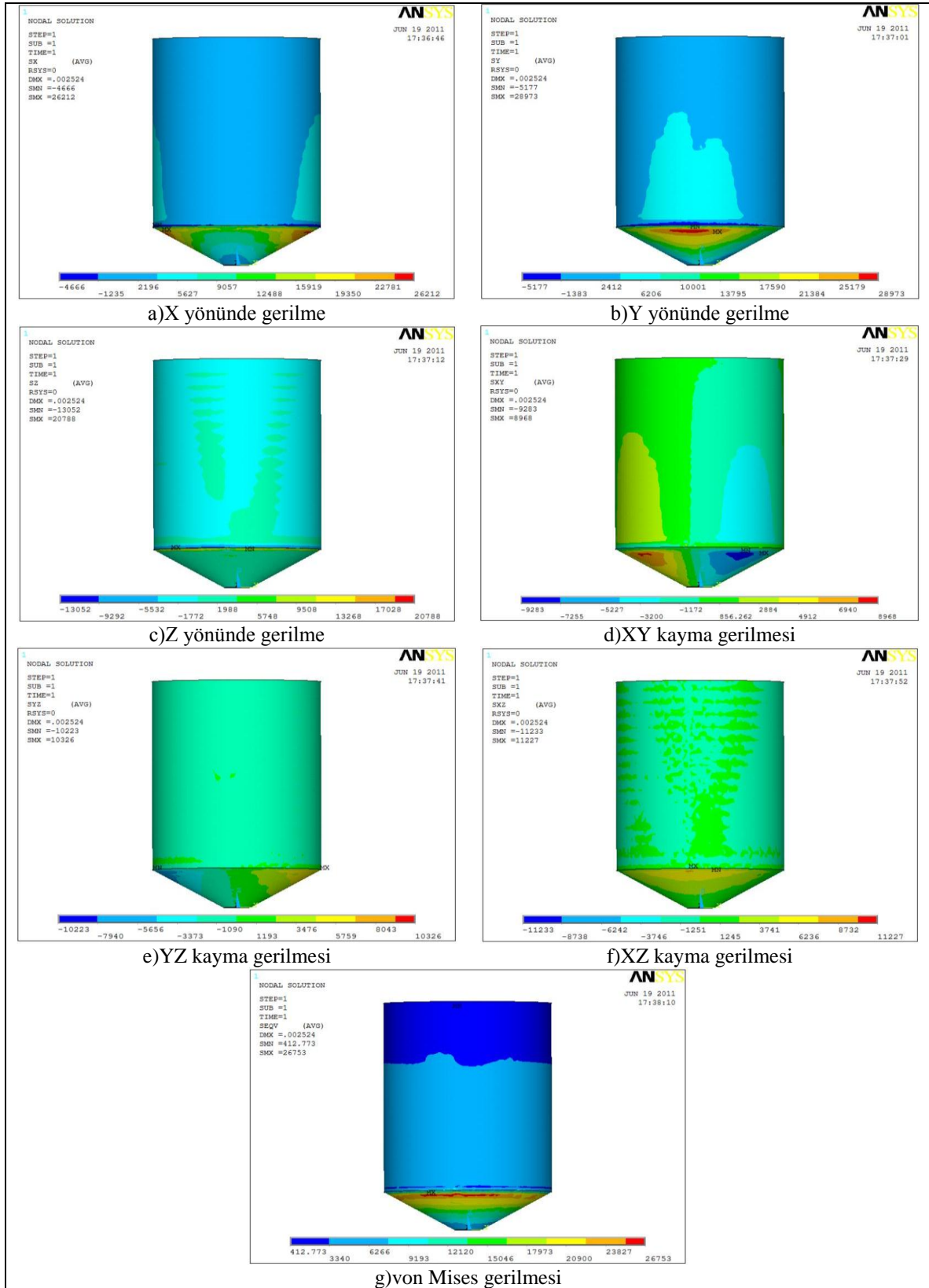


Şekil 5. Düşey basınç yükünün farklı doğrultularda oluşturduğu gerilmeler (AS 3374)

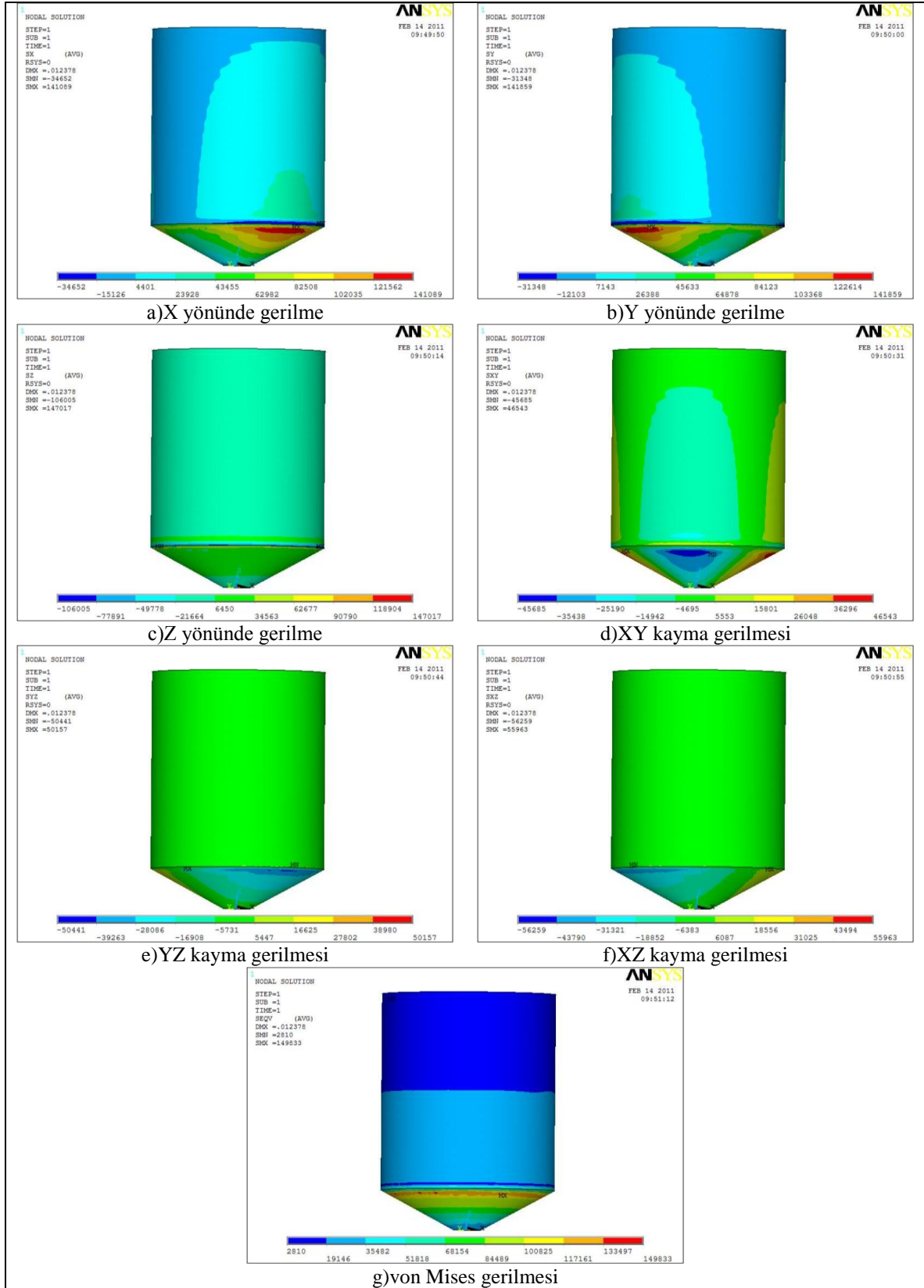
Figure 5. The stresses caused by different directions of the vertical pressure load (AS 3774)



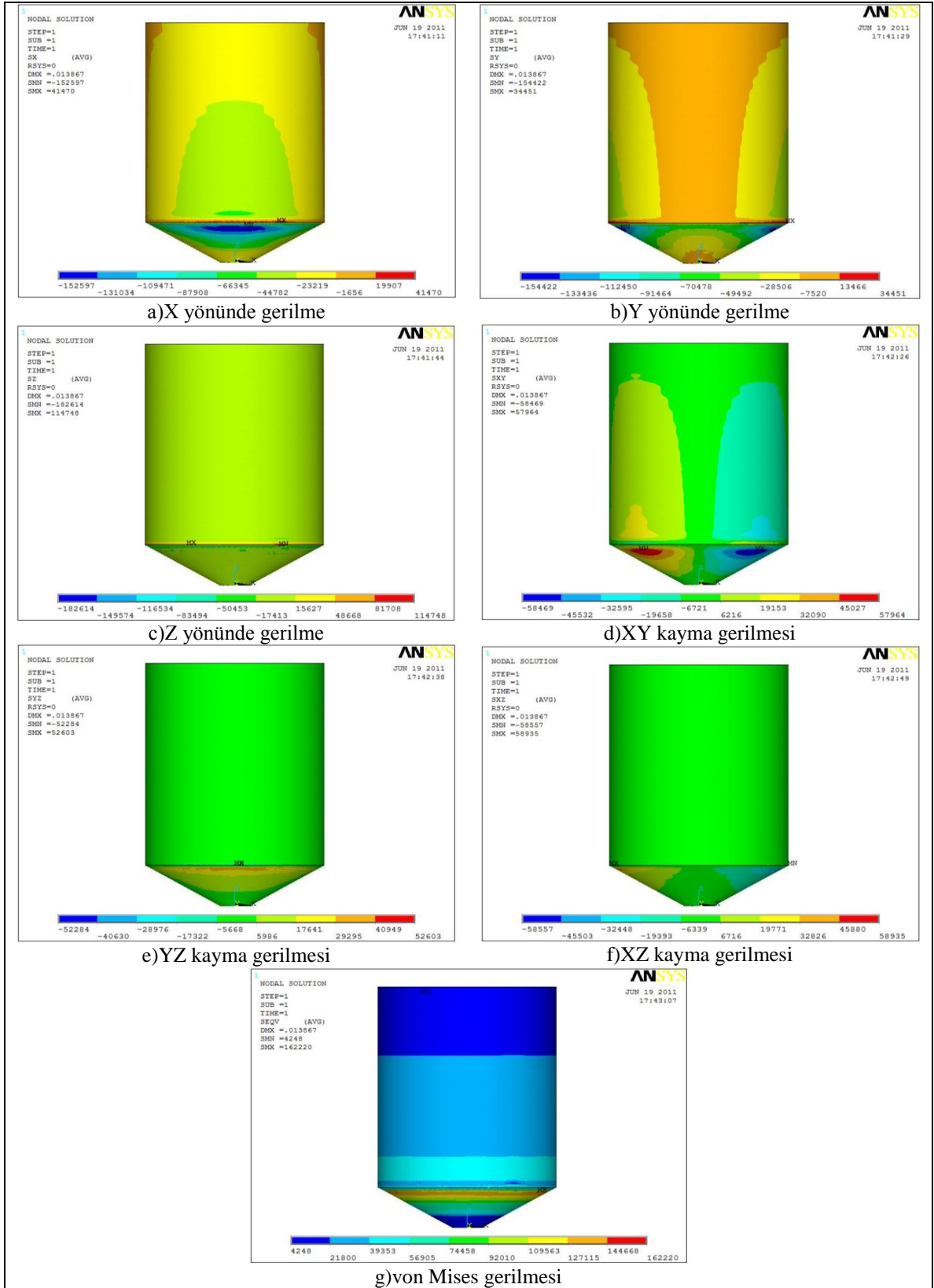
Şekil 6. Sürtünme çekmesi yükünün farklı doğrultularda oluşturduğu gerilmeler (Eurocode 1)
Figure 6. The stresses caused by different directions of the frictional traction load (Eurocode 1)



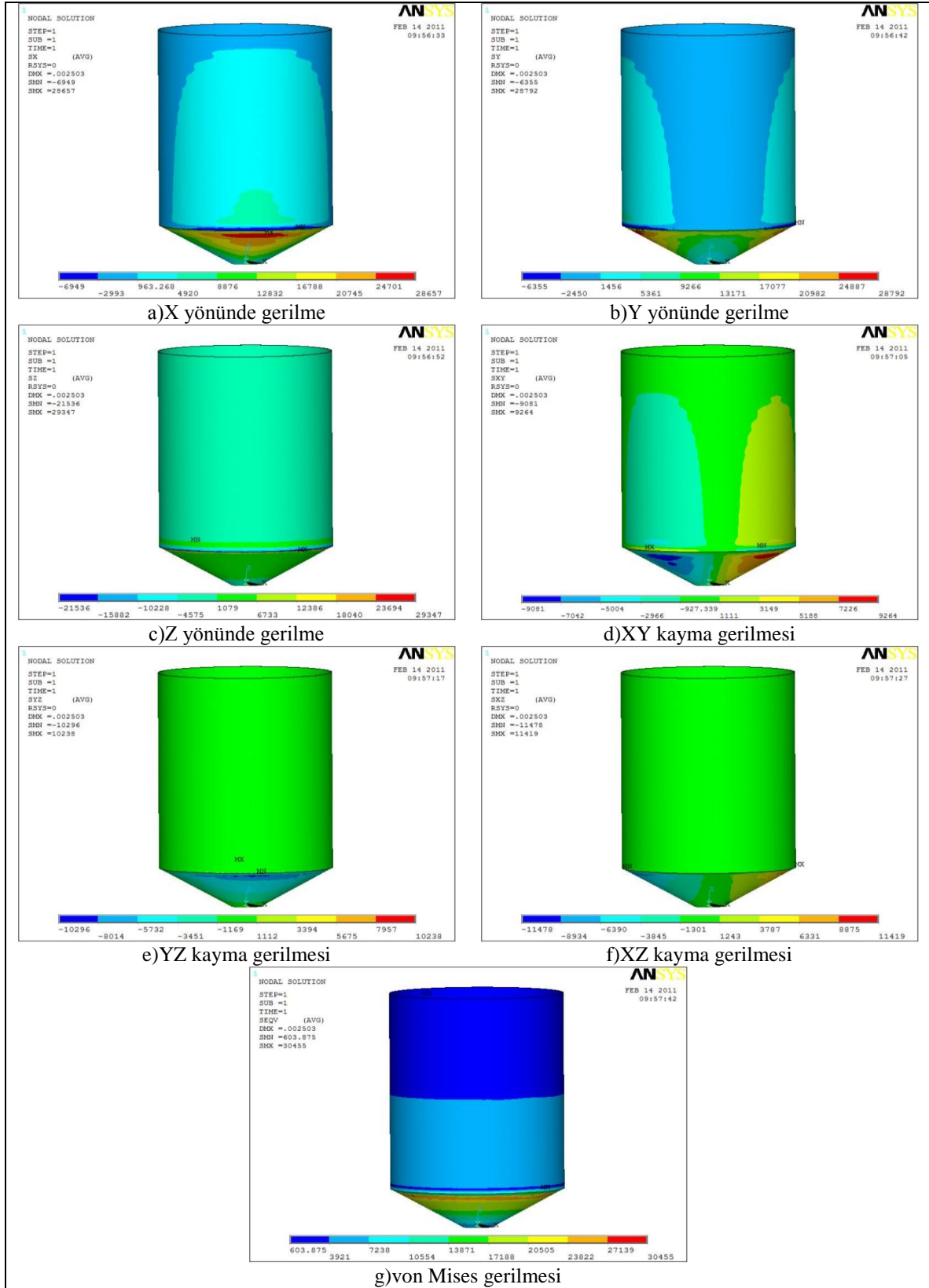
Şekil 7. Sürtünme çekmesi yükünün farklı doğrultularda oluşturduğu gerilmeler (AS 3374)
 Figure 7. The stresses caused by different directions of the frictional traction load (AS 3374)



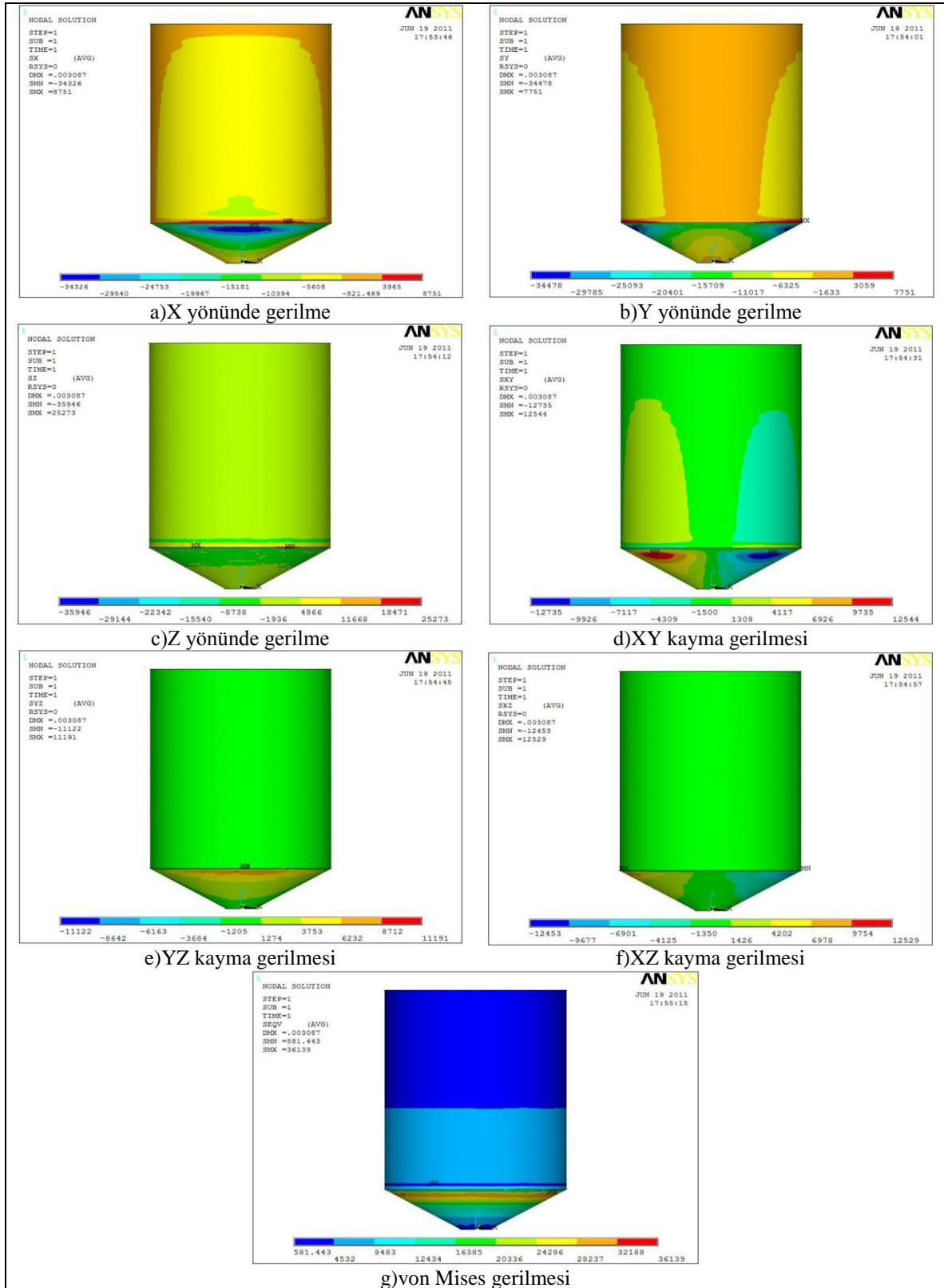
Şekil 8. Yatay basınç yükünün farklı doğrultularda oluşturduğu gerilmeler (Eurocode 1)
Figure 8. The stresses caused by different directions of the horizontal pressure load (Eurocode 1)



Şekil 9. Yatay basınç yükünün farklı doğrultularda oluşturduğu gerilmeler (AS 3374)
 Figure 9. The stresses caused by different directions of the horizontal pressure load (AS 3374)



Şekil 10. Sürtünme çekmesi yükünün farklı doğrultularda oluşturduğu gerilmeler (Eurocode 1)
 Figure 10. The stresses caused by different directions of the frictional traction load (Eurocode 1)



Şekil 11. Sürtünme çekmesi yükünün farklı doğrultularda oluşturduğu gerilmeler (AS 3374)
Figure 11. The stresses caused by different directions of the frictional traction load (AS 3374)

Brown (2008), siloda boşaltma esnasında huni tasarımının diğer silo elemanlarının tasarımına göre kompleks olduğunu ve EN 1991-4 huni tasarımında iki ana basıncın (cidar normal basınçları ve sürtünme çekmesi) düşünülerek tasarım yapılması gerektiğini belirtmiştir. Ayrıca huni bölgesine geçişte meydana gelen yatay basınçlar, gerilme ve sürtünme çekmesi üzerine depolanmış ürünün birim ağırlığının ve huni geometrisinin son derece önemli olduğunu tespit etmiştir.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Eurocode 1 standardına göre mühendislik açısından avantajlı durumu olan 13 mm cidar kalınlığına sahip silonun gerçekliğinin ne ölçüde olduğunu ortaya koyabilmek amacıyla Avustralya standardına (AS 3774) göre de doldurma koşullarında düşey basınç ve sürtünme çekmesi yükü, boşaltma koşullarında yatay basınç ve sürtünme çekmesi yükü içinde 4 farklı simülasyon gerçekleştirilmiştir. Yapılan analiz sonuçlarına göre 13 mm cidar kalınlığının Avustralya standardına (AS 3774) göre de emniyetli olduğu saptanmıştır.

Çelik silolar üniform olmayan yanal basınçlar nedeniyle kolayca deforme olabilmektedir. Fındık muhafazasında kullanılacak silindirik gövdeli konik çıkış ağızlı silolar için de doldurma ve boşaltma durumundaki yatay, düşey ve huni basınçları hesaplanarak optimum silo cidar kalınlığı mutlaka saptanmalıdır. Silonun inşaatına başlanılmadan önce ANSYS veya benzeri bir yazılım programı yardımıyla simülasyonların yapılması konstrüksiyona yönelik aksaklıkların önceden giderilmesi açısından önemlidir.

Kaynaklar

- ACI 313 (1977). Recommended Practice for Design and Construction Bins, Silos, and Bunkers for Storing Granular. American Concrete Institute.
- Anonim (2010). Fındık Sektör Raporu. <http://www.tmo.gov.tr/Upload/Document/raporlar/FindikSektorRaporu2012.pdf>. (Erişim tarihi: 11.06.2013).
- ANSYS Inc (2013). ANSYS Theory Manual Release 14.0. Swanson Analysis System, USA.

- AS 3774 (1996). Loads on Bulk Solids Containers. Standards Association of Australia, Homebush, NSW 2140.
- Ayuga F, Aguado P, Gallego E and Ramirez A (2006). Experimental Tests to Validate Numerical Models in Silos Design. An ASABE Meeting Presentation Paper Number: 064002.
- Brown CJ (2008). Developments in The Design of Rectangular Plan Form Silos. Proceedings of The International Conference on Structures and Granular Solids: From Scientific Principles to Engineering Applications, The Royal Society of Edinburgh, Scotland, UK, 1-2 July, 2008, pp. 103-111.
- DIN 1055 (1987). Design Loads for Buildings Part 6: Loads in Silo Bins.
- DPT (2001). Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı; Gıda Sanayii Özel İhtisas Komisyonu Raporu Fındık İşleme Sanayii Alt Komisyon Raporu. Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.
- Eurocode 1 (2003). Basis of Design and Actions on Structures (EN 1991-4), Part 4: Actions in Silo and Tanks. European Committee for Standardisation, Brussels.
- 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.
- Gökalp Z and Bundy DS (2010). Analysis of lateral design pressures, vertical frictional forces and bending stresses on horizontally corrugated steel silo wall panels. Journal of Agricultural Faculty of Gaziosmanpaşa University, 27: 71-79.
- Juan A, Moran JM, Guerra MI, Couto A, Ayuga F and Aguado PJ (2006). Establishing stress state of cylindrical metal silos using finite element method: Comparison with ENV 1993. Thin-Walled Structures, 44: 1192-1200.
- Janssen HA (1895). Investigations of Pressure of Grain in Silo (in German). Vereins Eutscher Ingenieure Zeitschrift, 39: 1045-1049.
- Kibar H (2006). Bazı Fındık Çeşitlerinde Ürün Nem Kapsamı ile Depolamada Etkili Ürün Şev Karakteristikleri Arasındaki İlişkiler. OMÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisan Tezi, Samsun.
- Kibar H (2011). Tombul Fındık Depolamasında Tane Özelliklerine Bağlı Olarak ANSYS Programıyla Optimum Silo Tasarımı. OMÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Samsun.
- Kibar H ve Öztürk T (2011). Tarımsal ürün silolarında yapısal sorunlar. GOÜ. Ziraat Fakültesi Dergisi, 28: 85-96.
- Mark J, Holst FG, Ooi JY, Rotter JM and Rong GH (1999). Numerical modeling of silo filling 1: Continuum analysis. Journal of Engineering Mechanics, 125: 94-103.
- Rotter JM (1986). On The Significance of Switch Pressures at The Transition in Elevated Steel Bins. Proceedings of the Second International Conference on Bulk Materials Storage Handling

- and Transportation, Institution of Engineers, Wollongong, Australia, pp. 82–88.
- Teng JG and Rotter JM (1991). Strength of welded steel silo hoppers under filling and flow pressures. *Journal of Structural Engineering*, 117: 2567-2583.
- TÜİK (2013). Bitkisel Üretim İstatistikleri. <http://tuikapp.tuik.gov.tr/bitkiselapp/bitkisel.zul>. (Erişim tarihi: 12.06.2013).
- Vidal P, Guaita M and Ayuga F (2004). Simulation of Discharging Processes in Metallic Silos. An ASABE Meeting Presentation Paper Number: 044151.
- Vidal P, Gallego E, Guaita M and Ayuga F (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: 1881-1895.