

ANSYS Sonlu Eleman Yazılımının Tarımdaki Uygulamaları

Hakan KİBAR¹ Turgut ÖZTÜRK²

ÖZET: ANSYS, mühendislik yönünden karmaşık ve zaman alıcı problemlerin modellenmesi ve pratik şekilde çözümü için geliştirilmiş sonlu eleman yazılım programıdır. Bu çalışmada ANSYS programı kısaca tanıtılmış ve tarımsal alanda yapılan bazı çalışmalar özetlenmiştir. Çalışmanın amacı, mühendisliğin birçok alanında kullanım olanağı bulan bu yazılımın tarımsal mühendislik alanında da kullanılabilirliğini akademisyen ve mühendislere tanıtmaktır.

Anahtar kelimeler: ANSYS sonlu eleman programı, tarım



The Applications in Agriculture of ANSYS Finite Element Software

ABSTRACT: ANSYS is the software program of finite element developed to solve in a practical way and to model problems which are complex and time consuming aspects of engineering. In this study, ANSYS program have been briefly introduced and some studies done in the agricultural area have been summarized. Aim of the study, to introduce the academics and engineers the availability in agricultural engineering of this software which has the possibility of use in many areas of engineering.

Keywords: ANSYS finite element program, agriculture

¹ İğdır Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, İğdır, Türkiye

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

Sorumlu yazar/Corresponding Author: Hakan KİBAR, hakan.kibar@igdir.edu.tr

GİRİŞ

Sonlu elemanlar yöntemi (SEY), çeşitli mühendislik problemlerine kabul edilebilir bir yaklaşımla çözüm arayan bir sayısal çözüm yöntemidir. Ele alınan mühendislik probleminin çözüm bölgesi alt bölgelere ayrıştırılır ve her alt bölgede aranan fonksiyonun ifadesi polinom olacak şekilde seçilir. Belirli işlemler dâhilinde her alt bölgede polinom olarak kabul edilen çözümün katsayıları belirlenmeye çalışılır. Sonlu elemanlar yönteminin avantajları;

- ✓ SEY geometrisi karmaşık şekillerin incelenmesine olanak sağlar. Çözüm bölgesi alt bölgelere ayrılabilir ve değişik sonlu elemanlar kullanılabilir. Gerekğinde bazı alt bölgelerde daha hassas hesaplamalar yapılabilir,

- ✓ SEY değişik ve karmaşık malzeme özellikleri olan sistemlerde kolaylıkla uygulanabilir. Örneğin, anizotropi, nonlinear, zamana bağlı malzeme özellikleri gibi malzeme özellikleri dikkate alınabilir,

- ✓ Sınır koşulları, sistemin temel denklemleri kurulduktan sonra, oldukça basit satır sütun işlemleriyle denklem sistemine dâhil edilebilir,

- ✓ SEY matematiksel olarak genelleştirilebilir ve çok sayıda problemi çözmek için aynı model kullanılabilir,

- ✓ Yöntemin hem fiziksel anlamı hem de matematiksel temeli mevcuttur.

Sonlu elemanlar yönteminin dezavantajları;

- ✓ Bazı problemlere uygulanmasında çeşitli zorluklar vardır,

- ✓ Elde edilen sonucun doğruluğu verilerin doğruluğuna bağlıdır,

- ✓ Bir bilgisayara ihtiyaç duyar,

- ✓ Kabul edilebilir doğru sonucun elde edilmesi için bölgenin ayrıştırılması deneyim gerektirir,

- ✓ Diğer yaklaşık yöntemlerde olduğu gibi, SEY ile elde edilen sonucun doğruluğu üzerinde de dikkat edilmeli ve fiziksel problem iyi incelenmelidir. Çıkabilecek sonuç önceden kestirilmeli ve sonuç ona göre test edilmelidir (Yahnioğlu, 2012).

Çağdaş dünyada programlanmış bilgisayarlar olaylar ile ilgili bilgileri toplayabilmekte, olaylar hakkında kararlar verebilmekte olaylar arasındaki ilişkileri öğrenebilmektedir. Matematik formülünün kurulması zor veya olanaksız olan ve çözülmesi çok fazla zaman alan problemler bilgisayarlar tarafından çözülebilmek-

tedir (Akkaya, 2007). Genel olarak günümüzde sonlu elemanlar programı olarak ANSYS, SAP2000, ABAQUS ve FELASH gibi farklı programlar kullanılabilir. Bu amaçla Wojcik et al. (2003), Goodey and Brown (2004), Liu et al. (2008), Gökalp (2010), Gökalp and Bundy (2010) farklı sonlu elemanlar yöntemi programlarını kullanarak tarımsal alanda çeşitli çalışmalar yapmışlardır.

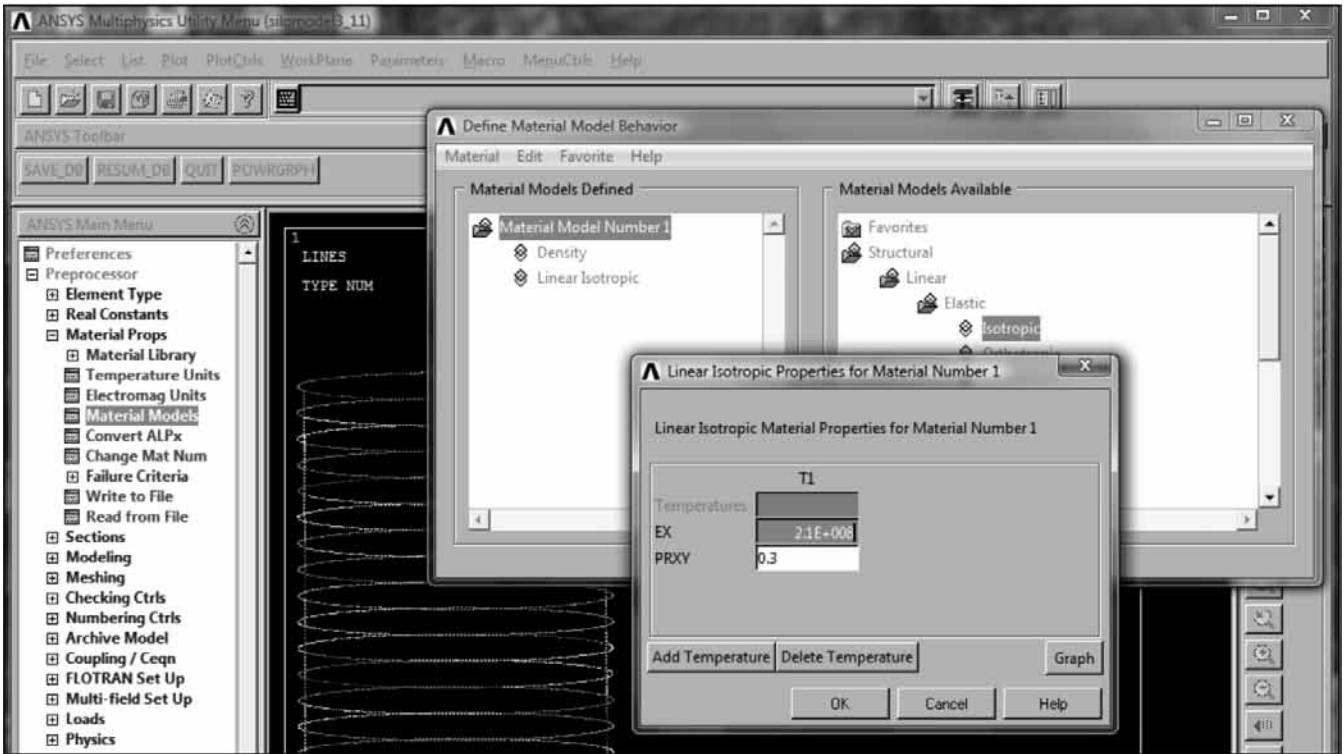
1970 yılında Dr. John A. Swanson tarafından ANSYS (Swanson Analysis Systems) sonlu elemanlar yazılımı geliştirilmiştir. ANSYS yazılımı 1970 yılında statik, dinamik ve ısısal sorunlara dayalı olarak yapısal, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD), elektronik ve elektromanyetik, tasarım optimizasyonundan oluşan sonlu eleman programı olarak 2000'den fazla uzman mühendis tarafından geliştirilmiş ve bilgisayar tabanlı mühendislik simülasyonlarında kullanılan sonlu eleman yazılım programıdır (Anonymous, 2012).

ANSYS yazılım programı; depolanmış ürün teknolojisinde, depolanmış ürünün depo cidarlarına uyguladığı basıncın belirlenmesinde, depo içi mikroklima parametrelerinin belirlenmesinde, depolama yapıları, seralar ve hayvan barınaklarında termal olayların (ısı, nem ve kütle transferi) izlenmesinde, depolama yapılarında ürünler, seralar da bitkiler ve hayvan barınaklarında da kirli havanın temiz hava ile değişimi için doğal veya mekanik havalandırma sistemlerinin hesap ve tasarımında, meyvelerin işleme ve taşınma esnasındaki olası zararları önceden tahmin edebilmek amacıyla tahribatsız olarak simülasyonlarının yapılmasında, tarımsal amaçlı kullanılacak güneş panellerinin simülasyonunda, traktör aktarma elemanlarının tasarımı gibi çok farklı tarımsal alan uygulamalarında geçmişten günümüze yaygın şekilde kullanılmaktadır.

ANSYS SONLU ELEMAN YAZILIMI

ANSYS, ürünlerin henüz prototipleri üretilmeden sanal ortamda test edilmelerine olanak sağlar. Prototip üretimi, simülasyon yöntemine göre daha maliyetli ve fazla zaman gerektirmektedir. Bundan dolayı günümüzde bilgisayar destekli mühendislik yöntemi tercih edilmektedir. Ayrıca sanal ortamdaki 3 boyutlu simülasyonlar neticesinde yapıların zayıf noktalarının belirlenmesi ve iyileştirilmesi ile kullanım ömür hesaplarının gerçekleştirilmesi ve olası problemlerin öngörülmesi olanaklı hale gelmektedir.

ANSYS yazılımı hem dışarıdan CAD datalarını alabilmekte hem de içindeki işlem olanakları ile geometri oluşturulmasına izin vermektedir. Yine aynı iş-



Şekil 1. Ele alınan modele ilişkin malzeme özelliklerinin seçimi.

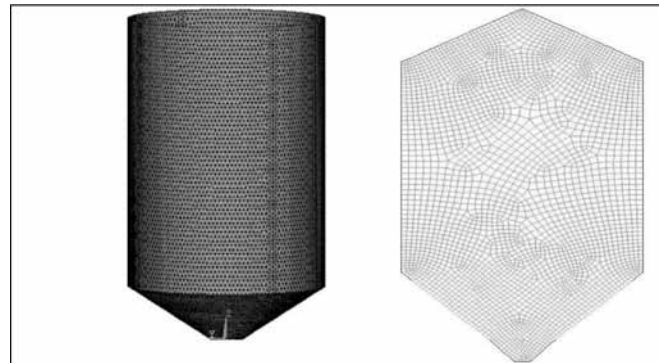
lemci içinde hesaplama için gerekli olan sonlu elemanlar modeli yani mesh de oluşturulmaktadır. Yükler ve mesnet veya sınır koşulları (boundary conditions, restraints) tanımlandıktan sonra ve gerçekleştirilen analiz sonucunda, sonuçlar sayısal ve grafiksel olarak elde edilebilmektedir (Li, 1994; Gallego et al., 2004).

Dolayısıyla bir ürünün kaliteli ve en az maliyetli olması için gerekli dizayn koşulları bu program sayesinde bulunabilmektedir. Genel olarak ANSYS' de bir analiz 3 kategoriden oluşmaktadır:

Preprocessor (1.aşama): Bu bölüm modelin oluşturulması veya hazır modelin ANSYS'e aktarılması ile başlar. Ardından modele malzeme ataması (elastisite modülü, birim ağırlık, poisson oranı vb.) yapılır (Şekil 1). Lineer analizlerde yalnızca malzemeye ait elastisite modülü ve poisson oranını girmek yeterli iken lineer olmayan analizlerde malzemeye ait diğer katsayı veya deformasyon-gerilme diyagramının da girilmesi gerekmektedir.

Daha sonra model sonlu elemanlara bölünerek ağ örgüsü (mesh) yapılır (Şekil 2). Burada önemli olan analiz biçimine ve geometriye göre doğru eleman tipinin belirlenmesidir. Bir elemanı tanımlayan belli başlı özellikleri;

1. Eleman serbestlik derecesi: Bir termal eleman için 1 serbestlik derecesi, bir yapısal eleman için 6 ser-

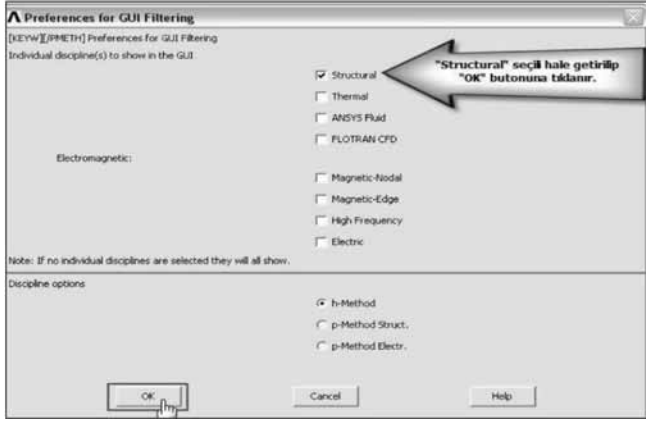


Şekil 2. Tarımsal silolara ilişkin mesh şekilleri (Faulkner, 2004; Kibar, 2011)

bestlik derecesine kadar çıkmaktadır (UX, UY, UZ, ROTX, ROTY, ROTZ).

2. Eleman şekli: tuğla şekilli, düzgün dört yüzlü, kare, üçgen, silindirik, koni vb.
3. Boyutu: 2-D(X-Y düzlemi sadece) veya 3-D.
4. Varsayılan deformasyon biçimi: lineer, non-lineer quadratik, vb. göre ayarlanabilir.

Eleman seçimi ilk aşamada gerçekte modeli en iyi temsil edecek eleman tipini seçmek ile başlar. Modelin simülasyon ortamında tanımlanması yapıldıktan sonra geometrinin karmaşıklığına ve istenilen sonucun doğruluğuna göre lineer veya quadratik eleman tipinin seçilmesi gerekir. Eğer model yuvarlak hatlar içeriyorsa



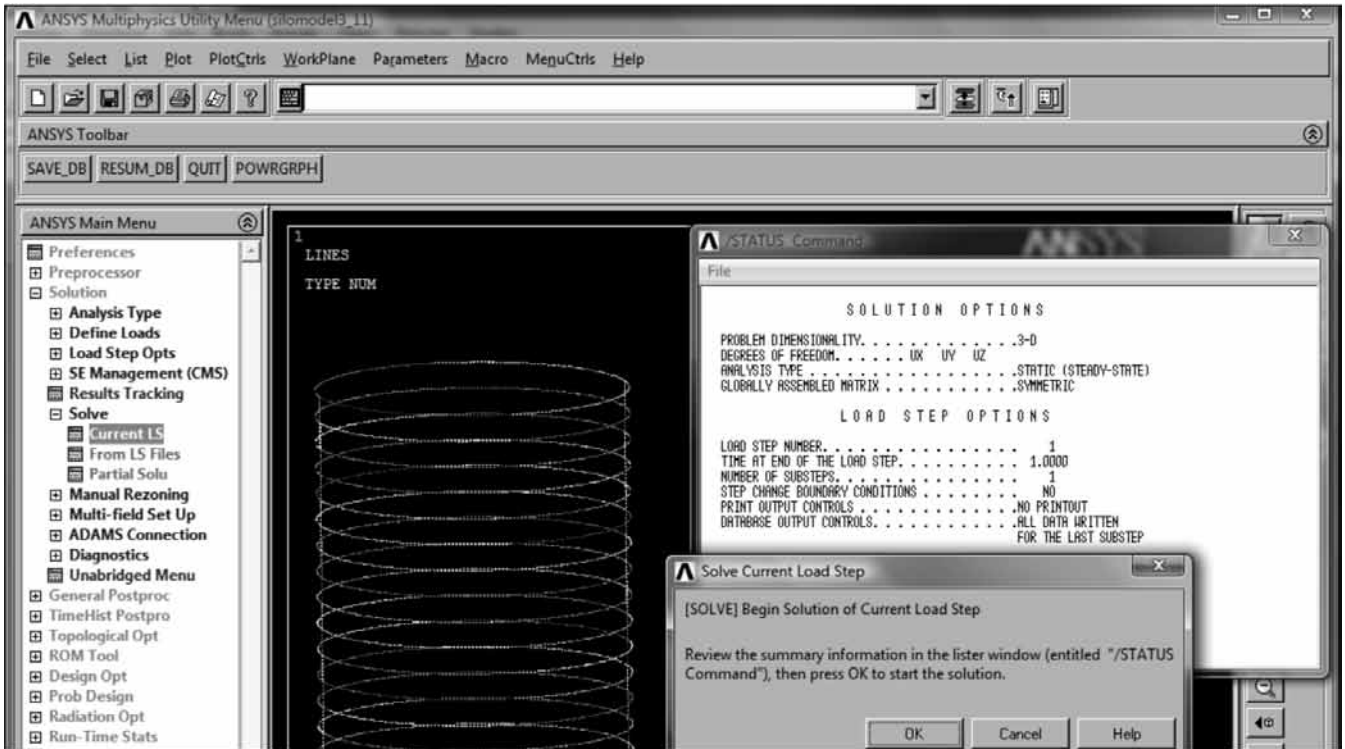
Şekil 3. ANSYS'te analiz türü seçim ekranı

ve buradaki gerilme dağılımının iyi yakalanması isteniyorsa, ya çok sayıda lineer eleman kullanılmalı veya az sayıda quadratik eleman kullanılmalıdır. Aynı zamanda gerilme dağılımını da parabolik olarak gözlemleme şansı bulunabilir. Ayrıca malzeme tanımlanması da bu kısımda yapılır ve modeli oluşturan bütün parçalara malzeme atanır.

Solution (2.aşama): ANSYS'de hangi analizin yapılması isteniyorsa bu analiz tipi seçilir. Bu çalışmada ifade edilen ANSYS programı cisimlerin statik, dinamik, termal, harmonik, elektro manyetik gibi birçok alanda analiz ve dizayn optimizasyonu işlemlerini yapabilmektedir (Şekil 3).

Ardından model üzerinde sınır koşulları ve yüklemeler tanımlanır. ANSYS programı genel olarak bütün sınır koşullarını ve yüklemelerini doğrudan noktalara dağıtarak hesaplamalarını yapar. Aslında bu sonlu elemanlar mantığından kaynaklanmaktadır. Çünkü normalde sonsuz nokta'dan oluşan gerçek yapı sonlu noktalara bölünmektedir ve tüm dış hacim artık bu noktalar ile tanımlanmaktadır. ANSYS'de, noktasal yüklemeler (kuvvet) ve basınç şeklinde yüklemeler uygulanabilir. Bu işlemler bittikten sonra "solve" komutu ile çözüme başlanır (Şekil 4).

Postprocessor (3. aşama): Bu adım sonuçların okunduğu ve yorumlandığı bölümdür. Sonuçların gözlemlenmesi birçok şekilde yapılabilir. Sonuçlar çizelge şeklinde, istenilen özelliklerin dağılımını gösteren çizimler çizimler şeklinde veya deforme olmuş cisim biçiminde sunulabilir. Ayrıca animasyon yardımı ile modelin yük altındaki davranışı gözler önüne sunulabilir. Etkin gerilme ve birim şekil değiştirme sonuçları ile akma gerilmesi ve şekil değiştirme sonuçlarını da görmek olasıdır. Bunun dışında birim şekil değiştirme enerjisi, plastik şekil değiştirme miktarı da kolaylıkla görsel olarak elde edilebilir. Her noktada oluşan gerilme ve deformasyon miktarları görebildiği gibi, gerilmenin bir yol boyunca izlediği değerler de gözlemlenebilmektedir.



Şekil 4. Çözümleme işlemi.

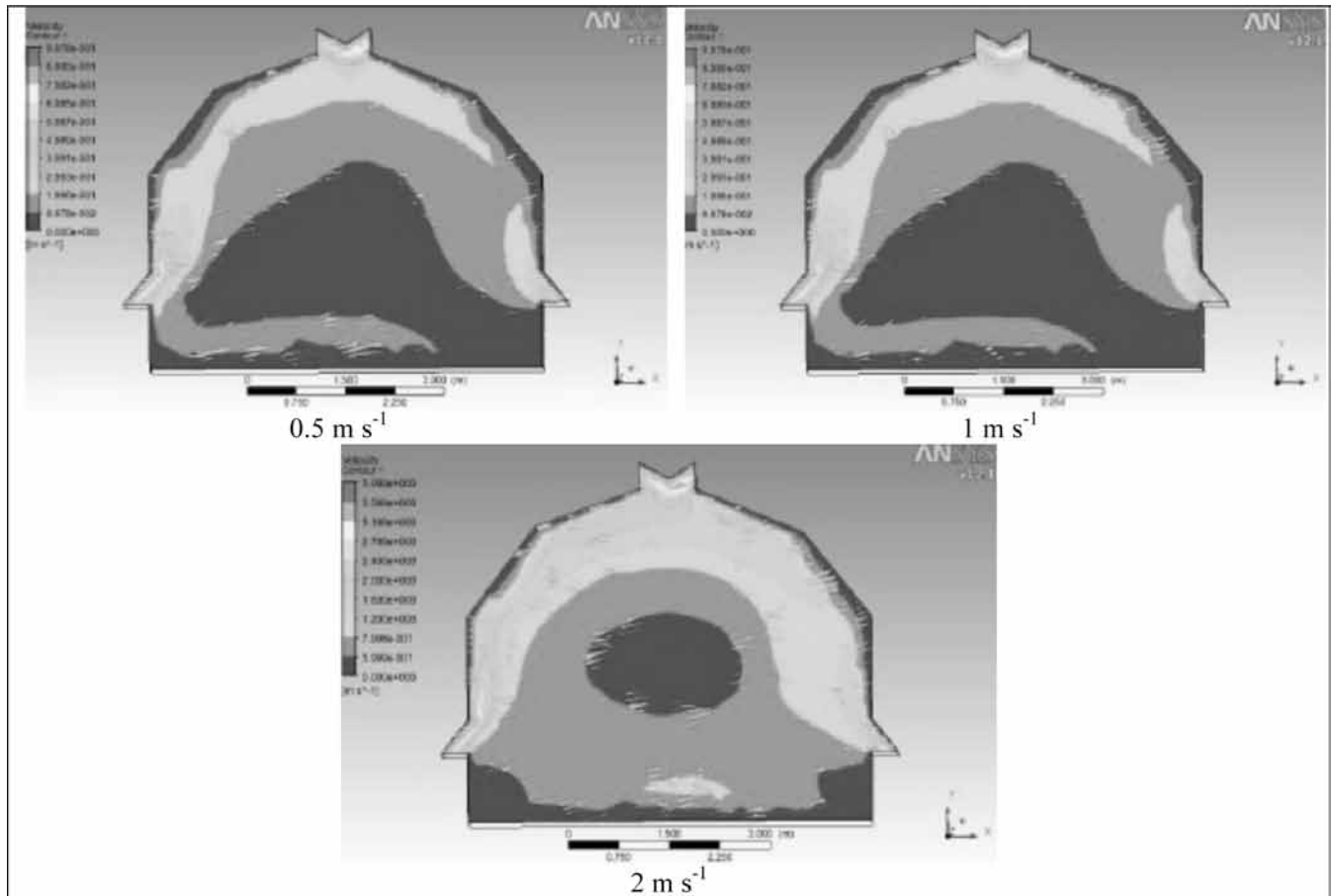
ANSYS' in TARIMSAL ALANDAKİ UYGULAMALARINA YÖNELİK BAZI ÇALIŞMALAR

Konuya ilişkin literatür çalışmaları incelendiğinde tarımsal alanlardaki ANSYS uygulamalarına programın geliştirilmesi ile birlikte 1970'li yıllardan itibaren başlandığı ve oldukça eski olduğu görülmektedir. Konuya yönelik bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Atış (2011), 6 farklı sera modeli (A, B, C, D, E ve F) ve her sera modeli için Mayıs, Haziran, Eylül ve Ekim ayı iklim parametrelerini ANSYS hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) ile Samsun koşullarına uygun farklı sera modellerinde ve farklı rüzgar hızlarında ($0.5, 1$ ve 2 m s^{-1}) doğal havalandırma etkinliğini çalışmıştır. Çalışma sonucunda bölgede bitkisel üretim için örtü altı bitkisel üretime uygun bir doğal havalandırma sera modelinin değerlendirilmek üzere belirlenen altı farklı sera modeli arasından etkili havalandırma yüksekliğinin gösterdiği üstün performanstan dolayı sera içerisinde uygun çevre koşullarını sağlaması nedeniyle C modelini önermiştir. Önerilen C modeline ilişkin farklı rüzgar hızlarında Mayıs ayında, C modelinde görülen sera içi hız değişimleri Şekil 5'te verilmiştir.

Ayuga et al. (2001), tahıl silolarında çıkış eksantritesi ile hem boşaltma hemde statik koşullar için basınç dağılımının analizini araştırmışlardır. Araştırmada sonlu eleman metodu için ANSYS yazılım programını kullanmışlardır. Denemeler için kullanılan silonun 10.5 m yüksekliğinde (silindir yüksekliği 8 m ve koni yüksekliği 2.5 m) 3 m çapında ve 0.5 m huni çıkış çapına sahip olduğu bildirilmiştir. Çıkış eksantritesi % 0 (merkezi çıkış) ve % 100 olarak alınmıştır. Boşaltma modelinin hem dilatasyon hemde boşaltma etkisinin çeşidi ile kombine olduğu bulunmuştur. Çalışma sonucunda çıkış eksantritesi için 3 boyutlu modeller geliştirmişlerdir.

Ayuga et al. (2006), çalışmalarında silo tasarımı için geçerli ANSYS yazılımı ile yapılan sayısal modellerle deneysel değerleri karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda normal basınçların deneysel değerlerinin sayısal modellerin değerlerinden daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durumun mekaniksel parametrelerdeki farklılıklar ve depolanmış ürünün davranışı veya başka yerde tanımlanmış basınç sensörlerindeki bazı tasarım problemlerinin saptanması ile açıklanabildiğini bildirmişlerdir.



Şekil 5. Farklı rüzgâr hızlarında Mayıs ayı için C modelinde görülen sera içi hız değişimleri.

Choi et al. (1988; 1990), Hoff et al. (1992), Haral and Boon (1997), Mistriotis et al (1997), Zhang et al. (2000), Tinoco et al, (2001) ve van Wagenberg et al. (2004) CFD modülünü kullanarak çeşitli geometrilerdeki hayvan barınaklarında ve kümeslerde bağıl nem, ortam sıcaklığı ve kirlenmiş hava konsantrasyonunu dikkate alarak ısı transferlerini simüle ederek havalandırma tasarımlarını gerçekleştirmişlerdir.

Delele et al. (2012), hasat sonrası depolanan meyvenin 4.2 m genişliğinde, 4.75 m uzunluğunda ve 4 m yüksekliğindeki bir depo odasında fungusit sisleme sisteminin etkinliğinin fungusit parçacık akışı ve birikmesi üzerine farklı hava dolaşım oranının etkinliğini ANSYS, CFD sonlu eleman yazılımı ile incelemiştir. Hava dolaşım oranı olarak $0 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (hava dolaşımı yok), $4080 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ ve $9250 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ kullanmışlardır. Sonuçta meyve üzerinde, en yüksek hava dolaşım oranı ile en düşük fungusit birikimi oluşurken hava dolaşımının olmadığı sisleme sırasında en yüksek fungusit birikimi oluştuğu gözlemlenmiştir.

Faulkner (2004), tahıl silosundaki mevsimsel koşullar altındaki sıcaklık ve basınç dağılımlarındaki değişimi kontur çizimler olarak belirleyebilmek amacıyla ANSYS, CFD programından yararlanmıştır. Yapmış olduğu analiz sonuçlarında yüksek düzeyde doğruluk derecesiyle kontur çizimler elde etmiştir.

Franco et al. (2011), Akdeniz seralarında yaygın şekilde kullanılan evaporatif soğutma pad'lerinin dört ticari modelde etkinliğinin belirlenmesi için ANSYS hesaplamalı akışkanlar dinamiği modülünü (CFD) kullanmıştır. Bu durumda 3 boyutlu CFD simülasyonu ile hem kuru pad ($Q_w=0 \text{ l s}^{-1} \text{ m}^{-2}$) hemde ıslak pad'ler ($Q_w=0.256 \text{ l s}^{-1} \text{ m}^{-2}$) kullanılmıştır. Sonuç olarak 3 m s^{-1} hava hızında simülasyon ve deneysel basınç düşüşü arasında iyi bir korelasyon ayrıca istatistiki olarak en yüksek farklılık kuru pad'ler için %9.08 ıslak pad'ler için %15.53 olarak saptanmıştır.

Guo et al. (2007), ANSYS programı ile yamuk ve yamuğa benzer kesitli sulama kanallarının tasarımı ve suyun akışı ile ilgili çalışma yapmışlardır.

Jancsó et al. (1998) armutların sertliğinin farklı uzunluk/çap oranı, ağırlık ve rezonans frekans değerlerinin ilk 20 mod şeklini kullanarak tahribatsız olarak belirlemek için ANSYS sonlu eleman yazılım programını kullanarak araştırmışlardır. Araştırma sonucunda meyvenin uzunluk/çap oranının rezonans frekans üzerinde quadratik etkiye sahip olduğunu, ilk rezonans frekans değeri mod şeklinin eğilme modu olduğunu ayrıca Young modülü artışının rezonans frekans değerlerini artırdığını belirlemişlerdir.

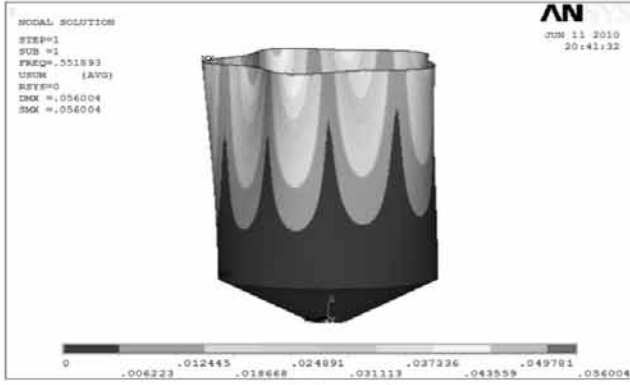
Kibar (2011), farklı geometri ve cidar kalınlığına sahip çelik konstrüksiyon tombul fındık silosunun sonlu eleman tabanlı modal analizini ANSYS sonlu eleman programı (Structural modülü) ile üç farklı silo modelinde (Model 1, Model 2 ve Model 3) ve farklı cidar (10, 11, 12, 13, 14, 15 ve 20 mm) kalınlıklarında incelemiştir. Sonuçta silo cidar kalınlığının artışı ile model siloların frekans değerlerinin arttığını saptamıştır (Şekil 6).

Gassman et al. (1989), paletli ve tekerlekli iki tip traktörün toprağın sıkıştırmasını simüle etmek için ANSYS programını kullanmışlardır. Her iki traktör tipi için 15 cm toprak derinliğinde toprak sıkışmasını % 2.5 olarak belirlemişler ancak 15 cm'den aşağı toprak katmanlarında sıkışmanın fazla önemli olmadığını bildirmişlerdir.

Gürsel ve Köftecioglu (2006), sonlu elemanlar çözümünde ANSYS programı kullanarak kulaklı pulluğa ait ok, kulak ve pulluk uç demiri organlarının mukavemet analizlerini araştırmışlardır. Ok modelinin iki farklı kesiti için (75x35 ve 80x45 mm) bulunan yer değiştirme değerlerinin uygun olduğunu ayrıca ok modelinin iki farklı kesiti için (75x35 ve 80x45 mm) bulunan gerilme değerlerinin, malzeme emniyet gerilmesi değerlerinin altında çıktığını buna bağlı olarak ok modeline kesit azaltımının uygulanabileceği sonucuna varılarak, küçük kesitin seçilmesine karar vermişlerdir. Kulak modeline basınç kuvveti uygulanarak yapılan analiz sonucunda, kulakta oluşan deformasyonların çok küçük olduğunu, kulağın montaj delikleri çevresinde yüksek gerilmelerin oluşmadığını belirlemişlerdir. Fakat karmaşık geometrinin, yüksek bileşke kuvvetler, kayma ve çekme-basma gerilmeleri oluşturabileceği düşünülerek, herhangi bir kesit azaltımına gidilmediğini belirtmişlerdir. Pulluk uç demiri modeline uygulanan tekil kuvvet sonucu oluşan deformasyonun ve elemanın uç kısmında oluşan gerilmelerin yüksek değerlere ulaşmasından dolayı, burun kısmında aşınmalar meydana geleceğini ve bunların kopmalarla sonuçlanabileceğini belirlemişlerdir.

Mollazade et al. (2010), killi toprak koşulları için en yüksek çalışma süresi en iyi olan dipkazanı seçmek için üç farklı dipkazanın (C, yatık ve L şekilli) ANSYS ile yorulma analizini yapmışlardır. Yorulma analizi sonucuna göre en yüksek güvenlik faktörü (5.27) C şekilli dipkazanda saptanmıştır.

Nourain et al. (2005), kavunun mod şekilleri ve seçilmiş sensör özelliklerini ANSYS sonlu eleman (FE) programıyla araştırmışlardır. Yapılan sonlu eleman simülasyonu sonucunda 4 adet mod şekilli (burulma veya eğilme, birinci mod, küresel mod ve solunum mod şek-



a) 1. mod



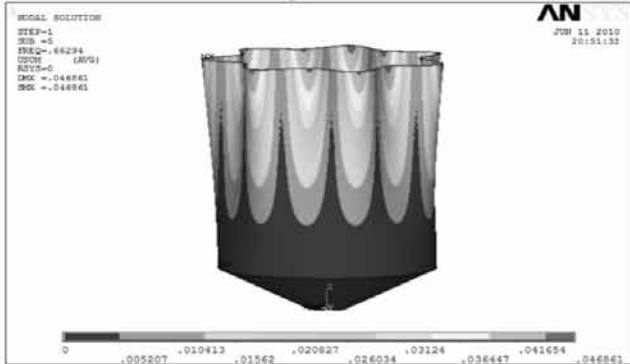
b) 2. mod



c) 3. mod



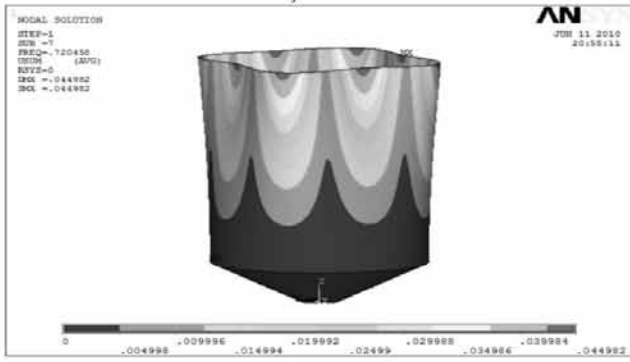
d) 4. mod



e) 5. mod



f) 6. mod



g) 7. mod



h) 8. mod

Şekil 6. 10 mm cidar kalınlığındaki Model 1 silosuna ilişkin mod şekilleri.

li) belirlenmiş, ayrıca sonlu eleman sonuçları ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda rezonans frekans ile sertlik arasındaki korelasyonu $r^2=0.91$ ve rijitlik faktörü ile rezonans frekans arasındaki korelasyonu $r^2=0.74$ olarak belirlemişlerdir.

Pan and Bhowmik (1991), soğutma sırasındaki domatesin geçişli ısı transferini hem deneysel hemde ANSYS programı ile araştırmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda deneysel ve ANSYS ile elde edilen sonuçlar arasındaki ilişkinin çok yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Geliştirmiş oldukları modelin domatesin içerisindeki çeşitli bölgelerdeki yüzeyde zaman-sıcaklık profilini tahmin etmede başarılı şekilde kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Thorpe (2008), depolanmış üründe ısı ve nem transferinin simülasyonunu ANSYS hesaplamalı akışkanlar dinamiği modülü (CFD) ile araştırmıştır. 20 m genişliğindeki yatay bir depoda en yüksek havalandırma hızının $0.14-0.16 \text{ m s}^{-1}$ arasında değiştiğini ve hızın depo çatısına yakın yerlerde en az tabana yakın yerlerde ise en fazla olduğunu, hava girişinin olduğu bölgede depo sıcaklığının $14-16 \text{ }^\circ\text{C}$ arasında değiştiğini ve hava girişine uzak olan bölgede $30 \text{ }^\circ\text{C}$ olduğunu ayrıca depo içerisinde ürün neminin %12-13 arasında değişim gösterdiğini gözlemlemiştir.

Vidal et al. (2006), çalışmalarında birisi konsantrik hunili, diğeri eksantrik hunili ve her ikisinde kolonlarla desteklenmiş esnek cidarlı iki silindirik silonun doldurulması ile ANSYS sonlu eleman programında simülasyon işlemi gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlar her iki huni tipi için kolonların varlığının silindir ve huninin hemen geçişi üzerindeki basınçta yerel artışlara yol açtığını ve bu noktanın altındaki basınçta ise azalışlara neden olduğunu göstermiştir. Kolonlar ve eksantrik huninin kombinasyonu silo cidarının alt ve üst yüzeylerindeki gerilmelerde önemli farklılıklara yol açmıştır. Bu durum onları kuvvetlendiren kolonlar ile aynı zamana rastladığında, düşey cidarın iç kısmına doğru ve cidarın diğer bölgelerinde dışa doğru deformasyonlar oluşturduğunu, eksantrik bir huni ile donatılmış siloda, cidarın dönüşümlü olarak hem içeriye hem de dışarıya doğru deforme olduğu silindir-huni ara yüzünün altındaki bölgelerin ortaya çıktığını saptamışlardır.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Mühendislik alanında yapılan çalışmalar göstermiştir ki matematiksel formülasyonla çözümü zor ve karmaşık olan problemler ANSYS sonlu eleman yazılımı ile simüle edilerek çözüme daha kısa sürede ula-

şılabilir. Bu açıdan bu yazılımın tarımın çeşitli alanlarındaki sorunların analiz ve çözümlemesinde de kullanılması yararlı olacaktır. Bunun yanında yapılan çalışmalar göstermiştir ki ANSYS sonlu eleman yazılımı kullanarak problemlerin başarılı bir şekilde çözülebilmesi ele alınan problemin çok iyi derecede modellenmesine bağlıdır. Sonuç olarak ANSYS uygulamaları zaman alan problemlerin çözümünde hem pratik hem de maliyet bakımından daha ucuzdur. Dolayısıyla tarımsal alana yönelik karmaşık mühendislik problemlerin çözümünde ANSYS önemli bir enstrümandır.

KAYNAKLAR

- Akkaya, G., 2007. Yapay sinir ağları ve tarım alanındaki uygulamaları. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 38(2): 195-202.
- Anonymous, 2012. About ANSYS, Inc. <http://www.ansys.com/About+ANSYS>, (Erişim tarihi: 20.02.2012).
- Atiş, A., 2011. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) kullanılarak samsun koşullarına uygun farklı sera modellerinde doğal havalandırma etkinliğinin belirlenmesi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Samsun.
- Ayuga, F., Guaita, M., Aguado, P.J., Couto, A., 2001. Discharge and the eccentricity of the hopper influence on the silo wall pressures. Journal of Engineering Mechanics, 127(10): 1067-1074.
- Ayuga, F., Aguado, P., Gallego, E., Ramirez, A., 2006. Experimental tests to validate numerical models in silos design. An ASABE Meeting Presentation Paper Number: 064002.
- Choi, K., Albright, L.D., Timmons, M.B., 1988. An application of the k-e turbulence model to predict air distribution in a slot ventilated enclosure. Transactions of the ASAE, 31: 1804-1814.
- Choi, K., Albright, L.D., Timmons, M.B., 1990. An application of the k-e turbulence model to predict how a rectangular obstacle in a slot-ventilated enclosure affects airflow. Transactions of the ASAE, 33: 274-2781.
- Delele, M.A., Vorstermans, B., Creemers, P., Tsige, A.A., Tijssens, E., Schenk, A., Opara, U.L., Nicolai, B.M., Verboven, P., 2012. CFD model development and validation of a thermonebulisation fungicide fogging system for postharvest storage of fruit. Journal of Food Engineering, 108: 59-68.
- Faulkner, G., 2004. Numerical investigation into the aeration of grain silos. University of Southern Queensland Faculty of Engineering and Surveying, The degree of Bachelor of Engineering, 144p.
- Franco, A., Valera, D.L., Pena, A., Perez, A.M., 2011. Aerodynamic analysis and CFD simulation of several cellulose evaporative cooling pads used in Mediterranean greenhouses. Computers and Electronics in Agriculture, 76: 218-230.
- Gallego, E., Goodey, R.J., Ayuga, F., Brown, C.J., 2004. Some practical features in modelling silos with finite elements. An ASABE Meeting Presentation Paper Number: 044150.

- Gassman, P.W., Erbach, D.C., Melvin, S.W., 1989. Analysis of track and wheel soil compaction. *Transactions of the ASAE*, 32(1): 23-29.
- Gokalp Z., 2010. Finite element analysis for displacements and stresses developed over horizontally corrugated steel silo wall panels. *Journal of Tekirdağ Agricultural Faculty*, 7(3): 119-127.
- Gökalp, Z., Bundy, D.S., 2010. Analysis of lateral design pressures, vertical frictional forces and bending stresses on horizontally corrugated steel silo wall panels. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 28(2): 71-79.
- Goodey, R.J., Brown, C.J., 2004. The influence of the base boundary condition in modelling filling of a metal silo. *Computers and Structures*, 82: 567-579.
- Guo, L.X., Wang, Z.Z., Li, J.L., Zhang, R., Zhong, L., 2007. Finite Element Analysis on Frost-heaving of Channel with Trapezoidal or Quasi-Trapezoidal Cross Section Based on ANSYS Software. *Water Saving Irrigation*, 35(4): 44-50 (in Chinese).
- Gürsel, K.T., Köftecioglu, Y.E., 2006. İki soklu kulaklı pulluk elemanlarının yapısal analizi. *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 24(3): 46-55.
- Harral, B.B., Boon, C.R., 1997. Comparison of predicted and measured air flow patterns in a mechanically ventilated livestock building without animals. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 66: 221-228.
- Hoff, S.J., Janni, K.A., Jacobson, L.D., 1992. Three-dimensional buoyant turbulent flows in a scaled model, slot-ventilated, livestock confinement facility. *Transactions of the ASAE*, 35: 671-686.
- Jancsó, P., Papadiamontopoulou, E., De Baerdemaeker, J., Nicolai, B., 1998. Effect of Shape on the acoustic response of conference pears- a finite element modelling approach. *AgEng Oslo98 Conference*, Paper No: 98-F-007.
- Kibar, H., 2011. Tombul fındık depolamasında tane özelliklerine bağlı olarak ANSYS programıyla optimum silo tasarımı. *On dokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (Basılmamış)*, Samsun.
- Li, H.Y. 1994. Analysis of steel silo structures on discrete supports. *Department of Civil Engineering & Building Science, The University of Edinburgh*, Ph.D. Thesis, 244p.
- Liu, C., Zhang, Q., Chen, Y., 2008. PFC^{3D} Simulations of lateral pressures in model bins. *An ASABE Meeting Presentation Paper Number: 083340*.
- Mistriotis, A., de Jong, T., Wagemans, M.J.M., Bot, G.P.A., 1997. Computational fluid dynamics as a tool for the analysis of ventilation and indoor microclimate in agricultural buildings. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 45: 81-96.
- Mollazade, K., Jafari, A., Ebrahimi, E., 2010. Application of dynamical analysis to choose best subsoiler's shape using ANSYS. *New York Science Journal*, 3(3): 93-100.
- Nourain, J., Ying, Y.B., Wang, J.P., Rao, X.Q., Yu, C.G., 2005. Firmness evaluation of melon using its vibration characteristic and finite element analysis. *Journal of Zhejiang University Science*, 6B(6): 483-490.
- Pan, J.C., Bhowmik, S.R., 1991. The finite element analysis of transient heat transfer in fresh tomatoes during cooling. *Transactions of the ASAE*, 34(3): 972-976.
- Thorpe, G.R., 2008. The application of computational fluid dynamics codes to simulate heat and moisture transfer in stored grains. *Journal of Stored Products Research*, 44: 21-31.
- Tinôco, I.F.F., Zanolla, N., Alvarenga eMelo, R.C., Baêta, F.C., Tinôco, A.L.A., Yanagi, Jr. T., Moraes, S.R.P., Silva, J.N., 2001. Effect of different ventilation systems on hot weather thermal comfort and performance of broiler chickens raised at high placement. In: *Livestock Environment VI: Proceedings of the 6th International Symposium*, Louisville, Kentucky, USA, pp. 250-255.
- Van Wagenberg, A.V., Bjerg, B., Bot, G.P.A., 2004. Measurements and simulation of climatic conditions in the animal occupied zone in a door ventilated room for piglets. *Agricultural Engineering International: The CIGR Journal of Scientific Research and Development*, Manuscript BC 03 020, Vol VI.
- Vidal, P., Couto, A., Ayuga, F., Guaita M., 2006. Influence of hopper eccentricity on discharge of cylindrical mass flow silos with rigid walls. *Journal of Engineering Mechanics*, 132(9): 1026-1033.
- Wojcik, M., Enstad, G.G., Jecmenica, M., 2003. Numerical calculations of wall pressures and stresses in steel cylindrical silos with concentric and eccentric hoppers. 21(3): 247-258.
- Yahnioğlu, N., 2012. Sonlu elemanlar yöntemi. www.yildiz.edu.tr/.../Sonlu%20elemanlar%20yontemi-sunu.ppt (erişim tarihi, 15.05.2012).
- Zhang, G., Morsing, S., Bjerg, B., Svidt, K., Strøm, J.S., 2000. Test room for validation of airflow patterns estimated by computational fluid dynamics. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 76: 141-148.

