

ALTILI GRUP SİLOLARIN MALZEME BASINCI ALTINDAKİ DAVRANIŞI

S. Bahadır YÜKSEL

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Selçuk Üniversitesi, Konya

ÖZET

Betonarme grup silolar, büyük miktarlarda farklı boyutlardaki daneli malzemelerin silo hücrelerinin içinde olduğu kadar silo hücreleri arasında da depolanmasında kullanılmaktadırlar. Betonarme grup silolarda tasarım kuvvetlerinin hesaplanması, komşu silo duvarları arasındaki süreklilik ve kuvvet aktarımından dolayı zaman alıcı ve zahmetli bir işittir. Bu siloların depolanan malzeme basıncı altındaki davranışı ile ilgili çalışmalar uzun yıllardır devam etmektedir. Ancak bu çalışmaların çok büyük bölümü dörtlü grup silolar ile ilgili olduğundan, bu çalışmada, altılı grup siloların iç yüklemeler altındaki davranışı sonlu elemanlar modellemesi ile araştırılmıştır. Altılı grup siloların kritik kesitlerinde malzeme basıncından kaynaklanan eksenel kuvvetler, kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri kapsamlı bir parametrik çalışma ile hesaplanmıştır. Gerçekleştirilen parametrik çalışmada, silo duvar kalınlığı, kesişim duvarı kalınlığı ve kesişim duvarı uzunluğu değiştirilmiş ve bu parametrelerin tasarım kuvvetlerine etkileri araştırılmıştır. Tasarım kuvvetlerini hesaplamak için gerekli olan tasarım formülleri ve tasarım katsayıları ise sonlu elemanlar yönteminin analiz sonuçları kullanılarak elde edilmiştir.

ABSTRACT

Different and huge amounts of granular materials can be stored in and between the cells of the grouped reinforced concrete cylindrical silos. The determination of the design forces acting on these grouped silos requires significant computational effort due to structural continuity and the force transfer between the adjacent silos. The behavior of the grouped silos due to stored materials has been studied for many years; however, most of these studies have been related with the group of four cylindrical silos. In this conjunction, the present study carried out a series of finite element analyses to examine the behaviors of various groups of six cylindrical silos against interstice loadings. A parametric study was performed by varying the silo-wall thickness, intersection wall thickness and the intersection wall lengths of the groups of

six cylindrical silos in order to confirm their effectiveness on the resultant design forces. The bending moments, hoop forces and shear forces occurring at the interstice walls due to interstice loadings were computed with realistic theoretical models. Based on the results of the present finite element analyses, the design formulas were introduced and the design coefficients were proposed to compute the design forces.

1. GİRİŞ

Betonarme grup silolar, silindirik, dikdörtgen ve trapez kesitler şeklinde inşa edilmektedirler. Bu konfigürasyonlar içinde dünyada en çok ve en yaygın kullanılan şekil silindirik grup silolardır. Grup siloların başlıca avantajı, hücrelerin içine olduğu kadar hücrelerin arasına da malzeme depolanabilmesidir. Buna ilaveten silindirik grup silolar, tekil silolara göre yatay yüklerin karşılanmasında daha ekonomik sonuçlar vermektedir [1, 2, 3]. Şekil 1'deki fotoğrafta tipik grup silolar görülmektedir.



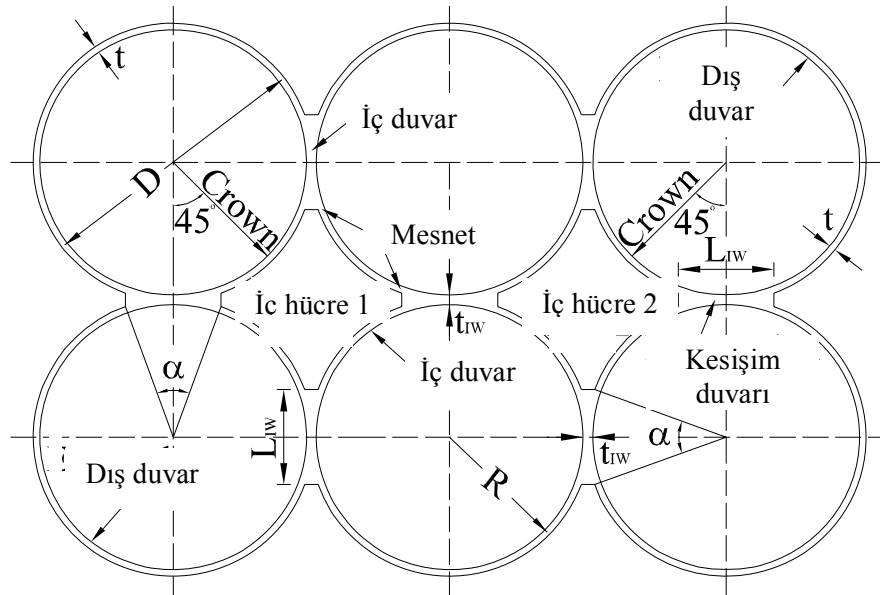
Şekil 1. Betonarme grup silolar (Haydarpaşa, Türkiye)

Grup silo davranışı, tekil silo davranışına göre komşu silo duvarlarındaki süreklilik ve kuvvet aktarımından dolayı farklılık göstermektedir. Siloların iç duvarlarında, iç yükmeden kaynaklanan aksenal basınç kuvveti ile birlikte önemli mertebelerde eğilme momenti ve kesme kuvveti de oluşmaktadır. Silo tasarım standartları [4, 5], grup silolar için mümkün olabilecek tüm yükleme kombinasyonlarının göz önünde bulundurulmasının gerekliliğini belirtmekte fakat tasarımcıya bu konuda yol göstermemektedir. Bu çalışmada, iç yükleme kaynaklı en kritik yükleme kombinasyonunun her iki iç hücrenin de dolu olduğu zaman meydana geldiği

ispatlanmıştır. Altılı grup siloların iç duvarlarında iç malzeme basıncından dolayı oluşan tasarım kuvvetleri doğru bir şekilde hesaplanmalıdır. Grup silolardaki silo duvarlarının sürekliliği, eğilme momenti, aksenal kuvvet ve kesme kuvveti etkilerinin önemli seviyelerde ortaya çıkmasına yol açmakta, eğer yeterli donatı yerleştirilmezse silonun yıkılmasına bile neden olabilmektedir. Bu çalışmanın ana amacı, altılı grup siloların iç yüklemeler altındaki davranışını incelemektir.

2. SİLİNDİRİK GRUP SİLOLARIN GEOMETRİK ÖZELLİKLERİ VE YÜKLEME DURUMLARI

Tipik altılı grup siloların geometrik özellikleri Şekil 2’de verilmiştir. Burada “D” silo çapı, “R” silo yarıçapı, “t” silo duvar kalınlığı, “ t_{iw} ” kesişim duvarı kalınlığı, “ L_{iw} ” kesişim duvarı uzunluğu ve “ α ” ise kesişim duvarını gören merkez açıdır. İki silo duvarının kesişim bölgesi, kesişim duvarı olarak isimlendirilirken, iç hücrenin sınırları “mesnet”, iç hücrenin orta açıklığı “crown”, iç hücrenin duvarları ise iç duvarlar olarak adlandırılmıştır.

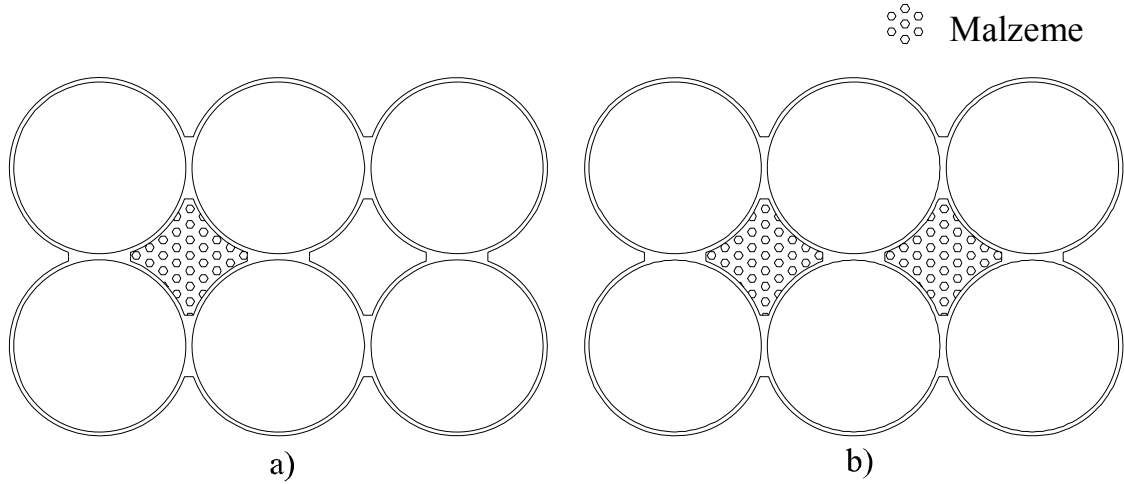


Şekil 2. Altılı grup siloların geometrik özellikleri

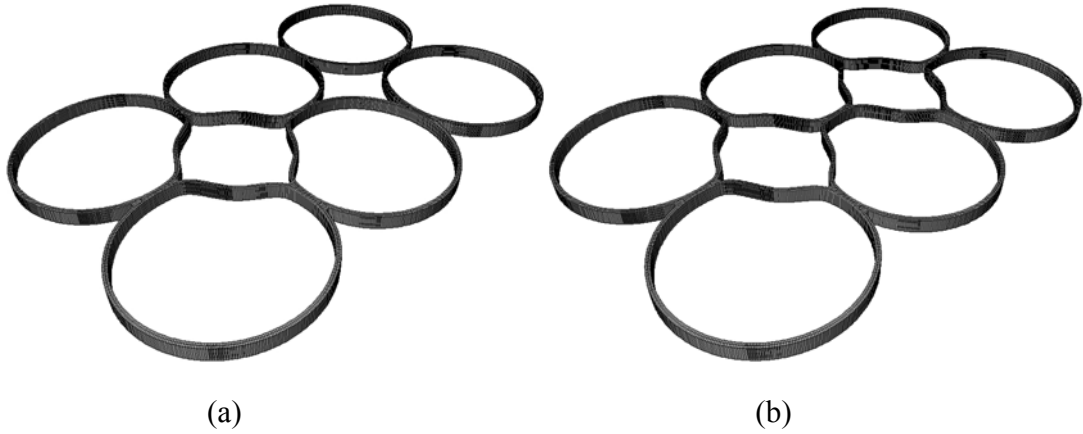
3. PARAMETRİK ÇALIŞMA

İç yüklemeler altındaki altılı grup siloların davranışlarını incelemek amacıyla bir parametrik çalışma yapılmıştır. Bu parametrik çalışma, sonlu elemanlar yönteminde sekiz düğümlü katı elemanlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tüm modellerde, malzeme basıncı $p = 110 \text{ kN/m}^2$, silo çapı $D = 12.50 \text{ m}$, elastisite modülü $3 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$ ve Poisson oranı da 0.2 olarak kullanılmıştır. Sonlu elemanlar analizinde kullanılan silo duvar kalınlığı, $t = 0.20 \text{ m}$, 0.25 m , 0.30 m , 0.35 m ve 0.40 m (silo çapının silo duvar kalınlığına oranı, $D/t = 62.5, 50.0, 41.7, 35.7$ ve

31.3); kesişim duvarı kalınlığı, $t_{1W} = 1.25 \times t$ ve $1.50 \times t$; kesişim duvarını gören merkez açısı, $\alpha = 30^\circ, 35^\circ, 40^\circ, 45^\circ$ ve 50° olarak alınmıştır. Bu kombinasyonlar sayesinde, geometrileri birbirinden farklı 50 adet altılı silindirik grup silo elde edilmiş, her bir grup siloya iki adet iç yükleme uygulanmıştır (Şekil 3). Böylece toplamda 100 adet sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Yukarıda her durum için açıklanan sonlu elemanlar analiz sonuçları, en kritik eğilme momenti, aksenal kuvvet ve kesme kuvvetini bulmak için değerlendirmeye alınmıştır. İç yüklemelere maruz kalan altılı grup siloların şekil değiştirmiş hali Şekil 4'te verilmiştir.



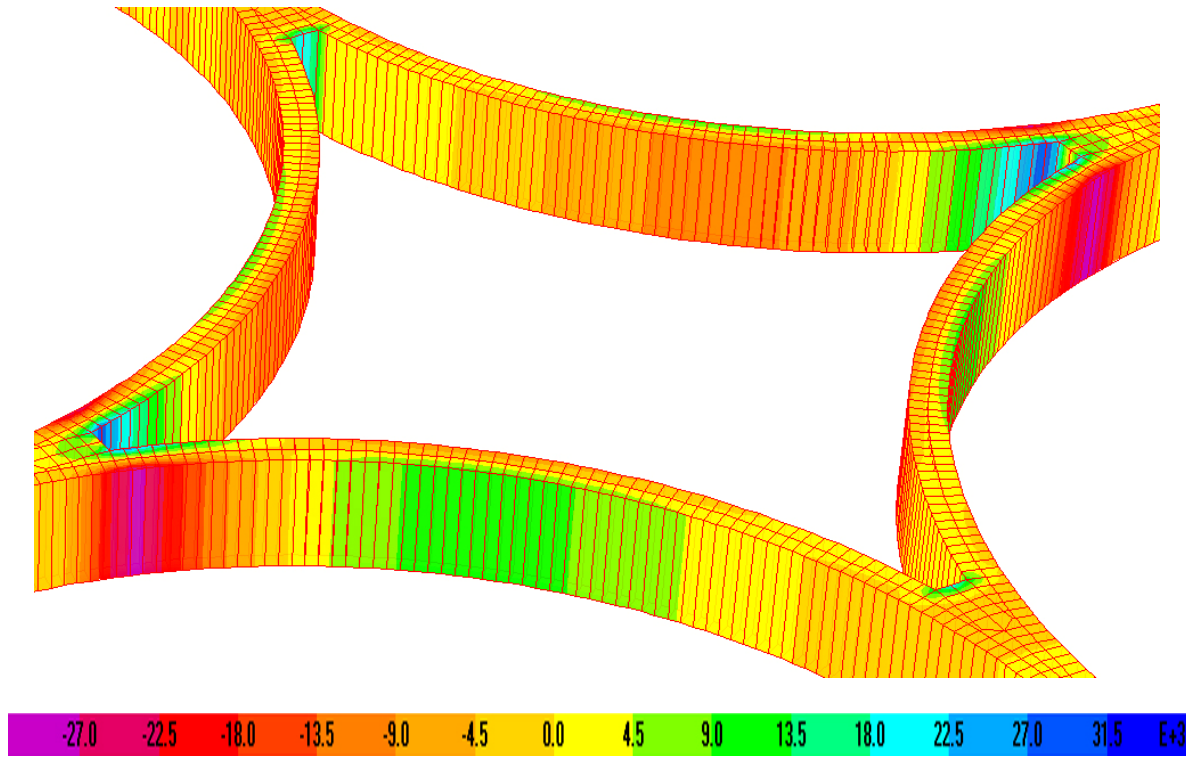
Şekil 3. Altılı grup siloların iç yükleme kombinasyonları;
(a) bir iç hücre dolu iken, (b) iki iç hücre dolu iken.



Şekil 4. Altılı grup siloların deforme olmuş şekilleri; (a) bir iç hücre dolu iken, (b) iki iç hücre dolu iken.

4. GRUP SİLOLARIN SONLU ELEMANLARLA MODELLENMESİ VE ANALİZİ

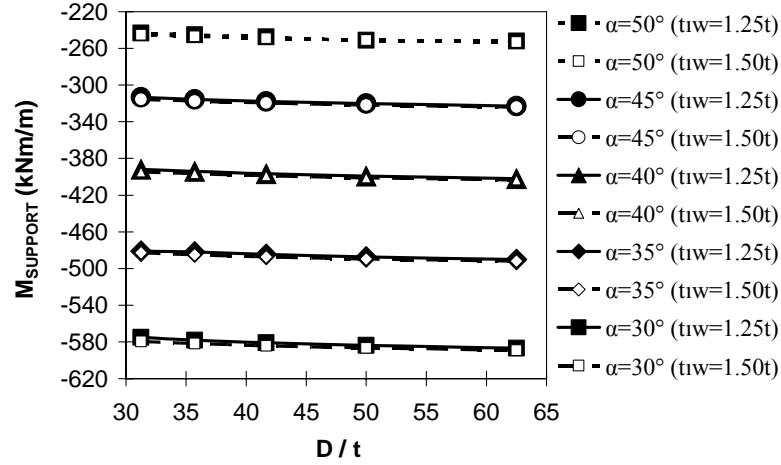
Grup silolardaki kesişim duvarının aniden genişleme göstermesi, grup siloların modellenmesini oldukça zahmetli ve zaman alıcı bir iş haline getirmektedir. Grup silolarının 8 düğümlü katı elemanlar ile modellenmesinin, kabuk elemanlar ve kiriş elemanlar ile modellenmesine göre daha doğru sonuçlar vereceği ispatlanmıştır [6, 7, 8]. Grup siloların sonlu elemanlar modellenmesi SAP2000 [9] programı ile sekiz düğümlü 3 boyutlu elemanlar kullanılarak oluşturulmuş ve incelenmiştir. Altılı grup siloların sonlu elemanlar modellerini oluşturmak için bir ön işlemci hazırlanmıştır. Altılı grup siloların tipik sonlu elemanlar modeli ve sadece bir iç hücre dolu iken oluşan normal gerilme diyagramı Şekil 5’de görülebilir. Sonlu elemanlar modellerinde yeterli doğruluğu sağlayabilmek için her bir altılı grup silo 3000 adet katı elemana bölünmüştür.



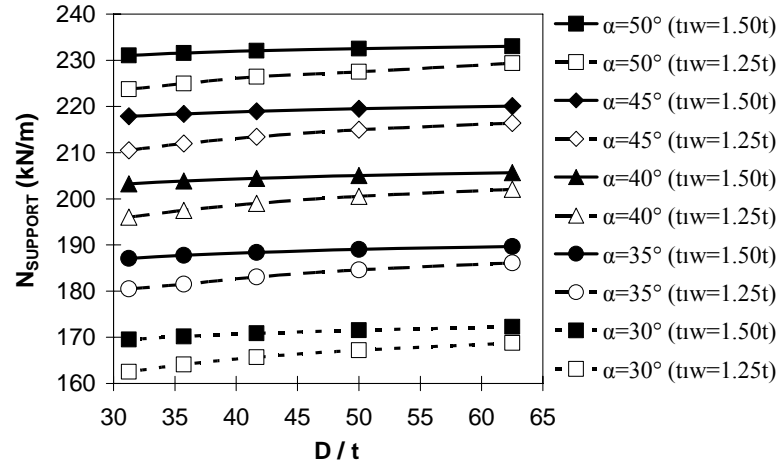
Şekil 5. Altılı grup siloda sadece bir iç hücre dolu iken oluşan normal gerilme diyagramı (birim: kN/m^2)

İç basınç etkisi altındaki altılı grup silolarda oluşan aksenal kuvvet, eğilme momenti ve kesme kuvveti sonlu elemanlar analizlerinden elde edilmiştir. Düğüm noktalarındaki kuvvetlerin ve gerilmelerin hesaplanması, tasarım kuvvetlerinin bulunması için yeterli değildir. Sonlu elemanlar analizlerinden doğru sonuçlar elde edilmiş olsa da, tasarım kuvvetlerinin hesaplanmasında düğüm noktası kuvvetlerinin kullanılması çok uğraştırıcı ve zahmetli bir iştir. Altılı grup silolarda

meydana gelen tasarım kuvvetleri, Bathe'nin [10] kitabında açıkladığı gibi düğüm noktaları kuvvetlerinden hesaplanmıştır. Eksenel kuvvet, eğilme momenti ve kesme kuvvetlerinin düğüm noktası kuvvetlerinden faydalanılarak hesaplanması için bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Her iki iç hücre de malzeme ile dolu iken mesnetlerde oluşan eğilme momentinin ($M_{SUPPORT}$) değişimi Şekil 6'da, eksenel normal kuvvetin ($N_{SUPPORT}$) değişimi ise Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 6. Her iki hücre de malzeme ile dolu iken mesnetlerde oluşan eğilme momentlerinin ($M_{SUPPORT}$) değişimi



Şekil 7. Her iki hücre de malzeme ile dolu iken mesnetlerde oluşan eksenel kuvvetlerin ($N_{SUPPORT}$) değişimi

5. SONUÇLAR

Altılı grup siloların depolanan malzeme basıncı altındaki davranışları bugüne kadar detaylı bir şekilde araştırılmamıştır. Bu nedenle, bu çalışmada, sonlu elemanlar modellenmesi yapılarak iç

yüklemeler altındaki altılı grup siloların davranışları araştırılmıştır. Tüm sonlu eleman modelleri, sekiz düğümlü üç boyutlu katı elemanlar kullanılarak oluşturulmuştur. Gerçekleştirilen parametrik çalışmada, silo duvar kalınlığı, kesişim duvarı kalınlığı ve kesişim duvarı uzunluğu değiştirilmiş ve bu parametrelerin tasarım kuvvelerine etkileri araştırılmıştır. Malzeme basıncından dolayı altılı grup siloların kritik kesitlerinde meydana gelen aksenal kuvvetler, kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri kapsamlı bir parametrik çalışma ile hesaplanmıştır. Altılı grup siloların, ayrıntılı bir biçimde üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmeyip de kabuk elemanlar ve klasik çubuk elemanlar kullanılarak modellenmesi, bu tasarım kuvvetinin doğru bir şekilde hesaplanmasına olanak sağlamamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Faber, J. and K.J.A. Alsop, “Economics of Reinforced Concrete Multibin Grain Silo Configurations” The Struct. Engr. 59A(1) 9-16, 1981.
- [2] Faber, J. and K.J.A. Alsop, Discussions of “Economics of Reinforced Concrete Multibin Grain Silo Configurations” The Struct. Engr. 60A(4) 121-127, 1982.
- [3] Prato, C.A. and L.A. Godoy, “Bending of Multi-bin RC Cylindrical Silos” Journal of Structural Engineering ASCE 115(12) 3194-3201, 1989.
- [4] ACI 313-97, “Standard Practice for Design and Construction of Concrete Silos and Stacking Tubes for Storing Granular Materials” American Concrete Institute Farmington Hills Mich USA-1997.
- [5] TSE-6989, “Rules for Design, Construction and Use of Reinforced Concrete Silos” Turkish Standards Institution (TSE) Ankara Turkey-1989.
- [6] Horowitz, B., “Singularities in Elastic Finite Element Analysis” Concrete International December 33-36, 1997.
- [7] Horowitz, B. and F.A. Nogueira, “Stress Resultants due to Interstice Loading in Group of Four Cylindrical Silos” ACI Structural Journal 96(6) 307-313, 1999.
- [8] Balkaya, C., E. Kalkan and S.B. Yuksel, “FE Analysis and Practical Modeling of RC Multi-bin Circular Silos” ACI Structural Journal 103(3) 365-371, 2006.
- [9] Computer and Structures Inc., “SAP2000 User’s Manual” Berkeley CA- June 2002. www.csiberkeley.com.
- [10] Bathe, K.J., “Finite Element Procedures” Prentice Hall Publisher N.J. USA-1996.