

Fındık depolamasında kullanılan bunker silolarda projelendirme yükleri ve yapısal başarısızlıklar

Turgut ÖZTÜRK, Ali UZUN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, 55139, Kurupelit SAMSUN

Alınış tarihi: 08 Ocak 2013, Kabul tarihi: 06 Haziran 2014

Sorumlu yazar: Turgut ÖZTÜRK, e-posta: turgutoz@omu.edu.tr

Öz

Fındık periyodisite gösteren bir ürün olması nedeniyle arz ve talep arasında uygun bir dengenin oluşturulması açısından 1 aydan 24 aya uzanacak bir periyot içerisinde depolanır. Türkiye’de fındık ihraç edilinceye kadar gerek kamu gerekse özel sektör tarafından depolanmaktadır. Depolama yapısı olarak boş bulunan her yapı bu amaç için kullanılmaya çalışılmaktadır. Bu tip gelişigüzel inşa edilen depolama yapılarında ise yapısal başarısızlık kaçınılmaz bir sonuçtur. Bu çalışmada fındık depolamasında yaygın olarak kullanılan bunker sistem silolarda yapı tasarımında etkili olan projelendirme yükleri irdelenerek projelendirme hatalarına bağlı silo başarısızlıkları üzerinde durulmuştur.

Anahtar kelimeler: Fındık, bunker silo, projelendirme yükü

Design loads and structural failures in bunker silos used hazelnut storage

Abstract

Hazelnut has a periodicity fruit nut. Hazelnut is stored within a period of 1 month to 24 months to extend in terms of the creation of an appropriate balance between supply and demand. Hazelnut is stored by both the public and private sectors until it is exported to foreign countries. Each structure in empty is tried to be used for this purpose. Structural failures in storage structures which were cursory built are an inevitable consequence. The study is

focused on silo failures caused by design errors in the bunker silo is are widely used in hazelnut storage after loads that are effective in building design projects examined.

Key words: Hazelnut, bunker silo, design loads

Giriş

Tarım ürünlerinin kaliteli bir şekilde üretilmesinin yanı sıra kullanıma kadar geçen süre içerisinde iyi bir şekilde muhafaza edilmesi de oldukça önemlidir. Bu nedenle tarım işletmelerinde işletmenin üretim faaliyetine bağlı olarak bir takım bitkisel ya da hayvansal ürün koruma ve depolama yapılarına ihtiyaç duyulur. Bu yapıların kendilerinden beklenen işlevleri yerine getirebilmeleri, mühendislik ilkeleri doğrultusunda projelendirilmeleriyle mümkün olabilir.

Taneli ürünler, katı sıvı ve gaz formunu bünyelerinde barındırdıkları için bu ürünlerin depolama koşulları büyük oranda fiziksel ve mekanik özelliklerine bağlıdır. Bu nedenle taneli ürünlerin sağlıklı bir şekilde muhafaza edilebilmesi için mühendislik uygulamaları açısından önemli temel fiziksel özelliklerinin ve bu fiziksel özellikler arasındaki ilişkilerin iyi bilinmesi gerekir (Horabik ve Molenda, 1998).

Dünyada fındık üretimi yapan ülkelerin fındık üretimi ortalamasına bakıldığında Türkiye’nin % 78,58 gibi bir payla ilk sırada olduğu görülmektedir. Türkiye’yi % 14,48 ile İtalya, % 4,07 ile ABD ve % 2,87 ile İspanya izlemektedir (Kızıltan ve Yalçın, 2010). Fındık periyodisite gösteren bir ürün olması nedeniyle arz ve talep arasında uygun bir dengenin oluşturulması ve piyasaya fındık akışının düzenli

olarak sağlanmasında kalite ve kantitesinden ödün vermeyecek depolama sistemlerine gereksinim duyar. Bu nedenle üretilen fındık 1 aydan 24 aya uzanacak bir periyot içerisinde depolanır. Fındığın depolanmasında geleneksel depoların yanında bunker sistem silolar da kullanılmaktadır. Bu çalışmada fındık depolamasında yaygın depolama sistemlerinden olan bunker sistem silolarda yapı tasarımında etkili olan projelendirme yükleri irdelenerek projelendirme hatalarına bağlı silo başarısızlıkları üzerinde durulmuştur.

Silo Tipleri

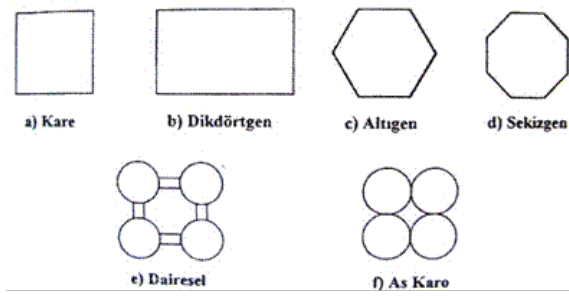
Silo Tipleri ve Siloların Sınıflandırılması

Silolar kohezyonsuz malzemelerin (hububat, kömür, cevher vb.) depolandığı ve korunduğu modern yapılardır. Özellikle tahıllar yılın ancak belirli zamanlarında hasat edilir, fakat bu ürünlere tüm yıl boyunca gereksinim duyulur. Bunun yanında üretimin fazla olduğu yıldan az olabileceği yıllara saklanabilirler. Endüstri ürünlerinde ise üretimin sürekliliği için ürünün belirli miktarda depolanması ve gerekli yerlere nakliye edilene kadar muhafaza edilmesi gerekir. Bu depolama işleminin yükleme ve boşaltmada kolaylık sağlaması ve bazı taneli malzemelerde havalandırmanın malzemeyi aktararak yapılabilmesi için yapılan bu özel depolara silo veya bunker denir (Aydoğan ve ark.,1992).

Tüm mühendislik yapılarında olduğu gibi siloları da çeşitli kriterlere göre sınıflandırmak mümkündür. Günümüzde siloların sınıflandırılmasında; Alman, Amerikan, Avrupa Birliği standartları kullanılmaktadır. Ülkemiz Avrupa Birliğine aday ülke statüsünde olduğu için ülkemizde AB standartları (Eurocode) geçerlidir (Kibar, 2011). Silolar; göz şekillerine, yüksekliklerine, inşasında kullanılan malzeme ve depolanan ürüne göre sınıflandırılmaktadır.

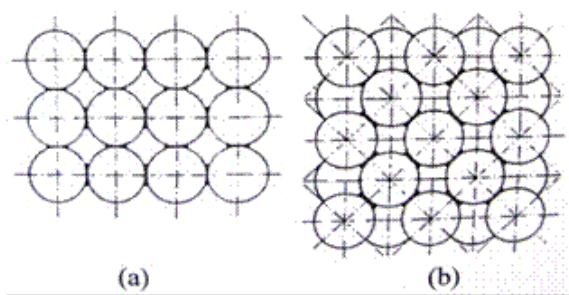
Kare ve dikdörtgen kesitli silolar belirli bir yer üzerinde arsa kaybı olmaksızın inşa edilebilmektedir. Bu siloların taşıyıcı kolonlarının hesap ve yapımı kolay olmasına rağmen cidarlarının moment etkisinde kalması nedeniyle inşaat maliyetleri, silindirik silolara göre genellikle daha yüksek olmaktadır. Silindirik silolar arsa kaybına yol açmalarına karşılık çekme kuvvetleri ile zorlamaları ve eğilme momentinin ihmal edilebilecek düzeyde olmasından dolayı, toplam maliyetleri kare ve dikdörtgen kesitli silolardan genellikle daha düşük olmaktadır. En kesitleri altıgen ve sekizgen olan silolar ise her bakımdan bu iki silonun arasında yer

almaktadır (Kibar, 2011). Siloların göz şekillerine göre sınıflandırılması Şekil 2.1' de verilmiştir.



Şekil 2.1. Siloların göz şekillerine göre sınıflandırılması (Kibar, 2011)

Silolar tekil olarak oluşturulabildikleri gibi çok hücreli olarak da inşa edilebilmektedirler. Çok gözülü siloların yerleştirilmesinde alan, teknolojik donanım, kapasite, seçilen yapı elemanları, statik ve konstrüktif özellikler gibi etmenler etkili olmaktadır. Dairesel kesitli silolar şekil 2.2a'daki gibi yan yana birbirlerine değecek şekilde düzenlenebildikleri gibi şekil 2.2b'deki gibi dama taşı şeklinde de inşa edilebilmektedir. Şekil 2.2a ve şekil 2.2b tipindeki silolarda birbirlerini etkileyerek eğilme momenti oluşturmamaları için hücreler bağımsız yapılmakta ve aralarına derz konulmaktadır. Bu nedenle esas hücrelerin arasında kalan ikincil hücrelerin kullanılmaması tercih edilmektedir (Kibar, 2011).



Şekil 2.2. Silindirik silo gruplarının oluşturulmasına ilişkin örnekler (Kibar, 2011).

Kare ve dikdörtgen kesitler özellikle bunkerler için kullanılır. Şekil 2.3' te fındık depolamasında kullanılan bir yatay silo (bunker) gösterilmiştir.

Silolar h silolama yüksekliğini ve A en kesit alanını göstermek üzere;

Derin (hücreli) silo,

Sığ (bunker-yatay) silo olarak

ve de r silo yarıçapını göstermek üzere;

Derin (hücreli) silo

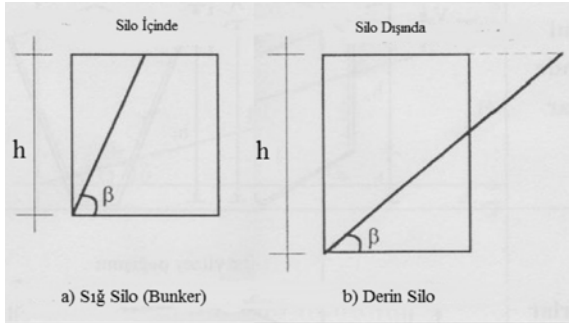
Sığ (bunker-yatay) silo

olarak sınıflandırılabilir.



Şekil 2.3. Fındık depolamasında kullanılan bunker silo.

Bu sınıflandırmanın, ürünün doğal şev açısının silo üst sınırını silo içinde kesip kesmediğine göre yapılması önerilmektedir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Sığ (bunker) ve derin silolarda ürün doğal şev açısı (Karaca, 2000).

Sonlu kütle içeren depolama yapıları, bazı kaynaklarda aileler şeklinde sınıflandırılmakta ve silolar da bu ailelerden birini teşkil etmektedir (Karaca, 2000). Bu durum şekil 2.5' te verilmiştir.

Silolar imal edildikleri malzemelere göre betonarme, çelik ve ahşap silolar olmak üzere üç sınıflara ayrılmaktadır (Şekil 2.6 ve 2.7). Silolanan malzemeye göre silolar tarım ve endüstri siloları olmak üzere başlıca iki sınıfta toplanmaktadır.

Projelendirme Yükleri

Siloların projelendirilmesinde işlevsel ve yapısal olmak üzere iki durumun dikkate alınması gerekmektedir. İşlevsel yönden projelendirmenin; uygun bir hacmin silolanmasını, malzemenin iyi bir şekilde korunmasını ve doldurma-boşaltmayı sağlaması gerekir. Yapısal yönden projelendirmenin ise stabiliteyi, dayanımı, yer değiştirmeyi denetleyecek şekilde yapılması zorunlu olmaktadır (Kibar, 2011).

Bütün taneli tarımsal ürünlerin serbest akış sisteminde depolanabilmesi için ürünün oluşturacağı depolama yüklerinin mühendislik uygulamalarda önceden tahmin edilmesi gerekir. Bu açıdan belirlenen akış tipine göre depoların projelendirilmesi yapılır (Öztürk ve Kibar, 2008).

Siloların projelendirilmesinde dikkate alınması gereken başlıca yükler;

A) Sabit yükler

Yapının kendi ağırlığı ve siloya monte edilmiş ekipmanların ağırlığından meydana gelen yüklerdir.

B) Değişen (hareketli) yükler

Silolanan malzemeden doğan yükler: Silolanan malzeme basınçlarından doğan yükler silo gövdesinde düşey kuvvet, silo cidarlarında ise sürtünme kuvveti ve yatay kuvvet oluşturmaktadır. Bu kuvvetlerin şiddeti silolanan materyalin; birim hacim ağırlığı, içsel sürtünme açısı ve silo cidarı üzerindeki sürtünme katsayısına bağlı olmakta ve taneli ürünler için bu karakteristik değerler sükünet ve doldurma-boşaltma durumlarında farklı değerler almaktadır (Kibar, 2011).

Sıcaklık farkı değişiminden doğan yükler: Silolar iç ve dış sıcaklık farklarından dolayı ihmal edilemeyecek büyüklükte gerilmelerin etkisinde kalabilmektedirler. Bu etkinin silo şekline ve yüksekliğine bağlı olarak hesaplanması gerekmektedir. Silo içerisindeki sıcaklık değişimi sıcak olarak doldurulan, sonradan ısıtılan ya da içerisindeki tepkilerden doğan sıcaklıklardan oluşabilmektedir. Dış sıcaklık değişimi ise güneş ışınlarının etkisi ile kuvvetli bir ısınma, yağmur ya da rüzgâr dolayısıyla silo dış cidarlarında oluşan ani sıcaklık azalmasından ileri gelmektedir. Bu nedenlerle oluşan sıcaklık farkının meydana getirdiği yüklerin yapıyı derzlerle bloklara ayırmak suretiyle önemli derecede azaltacağı bilinmektedir. Sıcaklık farkından doğan yükler, genellikle silindirik derin silolarda sıcaklığı yüksek endüstriyel (çimento gibi) ürünlerin silolanması durumunda meydana geldiği için bu çalışmada değerlendirme dışında tutulmuştur.

Kar yükü: Silolara etkiyen kar yükü iklim bölgeleri dikkate alınmak suretiyle, diğer mühendislik yapılarına benzer şekilde hesaplanmaktadır. Kar yükünün coğrafi ve meteorolojik koşullar ile temasta bulunacağı yapının rüzgâr etkisine bağlı olarak değiştiği bilinmektedir (Eurocode 1, 2004a).

Rüzgâr yükü: Rüzgâr özellikle boş durumdaki yüksek siloların stabilitesini etkileyebilmekte, bu durumda

kolonlarda ve temelerde oluşan gerilmeler dolu durumda oluşarlardan daha büyük olabilmektedir. Özellikle silindirik silolar boşken rüzgâr etkisinin oluşturacağı ovalleşme gibi etkilerin de denetlenmesi zorunlu olmaktadır (Kibar, 2011).

Silolara etkiyen rüzgâr etkisi yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerlerinde (Eurocode 1, 2004b) genel olarak yapılar için verilen yöntemle hesaplanabilmektedir.

Deprem yükü: Deprem yükleri silonun dayanım ve stabilitesini etkilediğinden, bunların çağdaş yönetmeliklerde öngörülen bir emniyete sahip olabilmeleri için deprem yüklerine göre de boyutlandırılmaları gerekmektedir (Eurocode 8, 2003). Projelendirme sırasında oluşturulacak yük kombinezonlarında deprem ve rüzgâr yükleri beraber alınmaz. Yapılan araştırmalarda deprem esnasında rüzgârın (fırtına şeklinde) etkili olma olasılığı oldukça düşüktür. Bu nedenle deprem ve rüzgâr yüklerinin birlikte hesaba alınması gereksiz derecede büyük kesitlere ve aşırı maliyete neden olmaktadır.

Aile Adı	Şematik Örnek Boykesitler	Tanım
Silolar		$\frac{H}{r_h} \geq 35$ $r_h \leq 12.5m$ $\frac{h_2}{H} \geq 0.6$
Geniş Silolar		$\frac{H}{r_h} \geq 3 - 5$ $r_h > 12.5m$ $\frac{h_2}{H} \geq 0.6$
Tremi Şeklinde Silolar		$\frac{h_2}{H} \leq 0.5$ $\frac{H}{r_h} \geq 2$ $\frac{h_1}{r_h} \geq 0.5$
Ambarlar		$\frac{H}{r_h} \leq 15$ $\frac{h_2}{H} \geq 0.6$ $\frac{h_1}{H} \approx 0$ $\frac{h_3}{H} \approx 0$
Haller		$\frac{h_2}{H} < 0.5$ $\frac{H}{r_h} \approx 0$ $\frac{h_1}{H} \approx 0$ $\frac{h_3}{H} \approx 0$

Şekil 2.5. Depolama yapılarının sınıflandırılması (Karaca, 2000).



Şekil 2.6. Çelik bunker silo



Şekil 2.7. Betonarme bunker silo

Silolanan Fındığın Mühendislik Özellikleri

Silolanan fındığın fiziko-mekanik özellikleri, fındık silolarının tasarımında belirleyici etkindir. Silolara etkiyen depolanmış üründen kaynaklanan yükler; silo hidrolik yarıçapı, ürün birim hacim ağırlığı, ürün içsel sürtünme açısı, cidar sürtünme katsayısı ve basınç oranına bağlıdır. Yatay (bunker) fındık silolarının planlanmasında; fındığın birim hacim ağırlığı, içsel sürtünme açısı ve cidar sürtünme katsayısı etkili olmaktadır.

Birim hacim ağırlık

Yatay (bunker) fındık silolarında etkili olan ürüne bağlı yanal ve düşey basıncın belirlenmesinde gerekli parametrelerden birisi ürünün birim hacim ağırlığıdır. Depolanan fındıkta birim hacim ağırlığı genellikle ürünün nem artışı ile birlikte artmaktadır. Depolanan fındığın nem içeriği arttıkça birim hacim ağırlığı da artmaktadır. Bu durumun yansıması da depo duvarına olan basıncın artması veya azalması şeklinde etki etmektedir. Fındık depolama yapılarında yanal proje basıncının artması malzeme kalınlığını artırdığından, depo inşa maliyeti de artmaktadır. Ülkemizde üretilen önemli fındık çeşitlerine ilişkin birim hacim ağırlık değerleri çizelge 3.1' de verilmiştir (Kibar, 2006).

Çizelge 3.1. Farklı nem içeriklerinde bazı fındık çeşitlerinin birim hacim ağırlıkları (Kibar, 2006).

Fındık Çeşidi	Nem İçeriği (%) ve Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)			
	8	12	16	20
Tombul	452	468	478	493
Badem	474	479	492	501
Mincane	478	488	506	516
Çakıldak	418	427	433	446
Sivri	477	489	503	520

İçsel sürtünme açısı

Biyolojik malzemelerin içsel sürtünme açısı ürünlerin fiziksel özelliklerine ve geometrik yapılarına bağlı olarak değişir. Fındıkta tanelerin içsel sürtünme açısını etkileyen önemli faktörler nem içeriği, çeşit ve olgunluk durumudur. Kurutulmuş taneli ürünler genellikle kohezyonsuz ve serbest akışlı kabul edilirler. Ürünün kohezyonu, nem içeriği ve uzun depolama süresi ile artar. Depolanan fındıkta tane nem içeriği arttıkça içsel sürtünme açısı da artmaktadır. İçsel sürtünme açısının artması depo duvarlarına gelecek olası basınçları da artırdığından malzemeye bağlı olarak depo birim maliyetlerini de artırmaktadır (Öztürk ve Kibar, 2005). Bazı fındık çeşitleri için içsel sürtünme açıları çizelge 3.2’ de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Farklı nem içeriklerinde bazı fındık çeşitlerinin içsel sürtünme açıları (Kibar, 2006).

Fındık Çeşidi	Nem İçeriği (%) ve İçsel Sürtünme Açısı (derece)			
	8	12	16	20
Tombul	30	31	33	35
Badem	33	34	35	36
Mincane	28	30	32	33
Çakıldak	28	31	32	34
Sivri	29	31	33	34

Cidar sürtünme katsayısı

Fındık çeşitlerinin nem içeriğine ve yüzeye bağlı (ahşap, çelik ve beton) cidar sürtünme katsayıları Çizelge 3.3.’te verilmiştir.

Silo Saçak ve Ürün Yüksekliği

Bunker silolarda saçak yüksekliği yan duvar yüksekliği ile ifade edilir. Genellikle saçak yüksekliği ürün yüksekliğinden bir miktar fazla olur ancak bu durum saçak tipine bağlı olarak değişkenlik gösterir (Anonymous, 2012). Bunker silolar saçak tiplerine göre açık saçaklı ve kapalı saçaklı olmak üzere ikiye ayrılır. Saçak açısına göre 28 ° den büyük eğime sahip saçaklı bunkerler ve 28 ° den küçük eğime sahip saçaklı bunkerler olmak üzere iki gruba

ayrılırlar (Anonymous, 2012). Bazı bunkerlerin doldurulmasında dağıtıcı kullanılır bu durumda ürün yüksekliği ile saçak yüksekliği arasında yükseklik farkı oluşur. Bazı bunkerlerde ise yükseltilmiş taban mevcuttur. Bu durumda ürün yüksekliği hesaplanırken saçak yüksekliğinden ilave döşemenin yüksekliği düşülür.

Açık Saçaklı Bunkerler: Saçak ile yan duvar arasında havanın serbestçe geçiş yapabildiği silolardır. Bu silolarda saçak yüksekliği ürün yüksekliğinden yaklaşık 25 mm daha fazladır (Şekil 3.1 b).

Kapalı (Sıkı) Saçaklı Bunkerler: Saçak ile yan duvar arasında havanın geçişinin sınırlandırıldığı silolardır. Bu tip silolarda hava çıkış açıklığı bulunmadığından genellikle ürün yüksekliği ile saçak yüksekliği birbirine eşittir (Şekil 3.1 a).

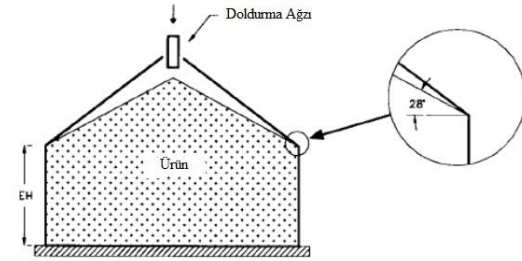
Çizelge 3.3. Fındık çeşitlerinde cidar sürtünme katsayıları (Kibar, 2006).

Fındık Çeşidi	Nem İçeriği (%)	Cidar Sürtünme Katsayısı (μ)		
		Ahşap	BS30 Beton	Galvanize Çelik
Tombul	8	0.216	0.238	0.204
	12	0.243	0.259	0.231
	16	0.298	0.322	0.267
	20	0.322	0.354	0.313
Badem	8	0.285	0.302	0.243
	12	0.314	0.336	0.286
	16	0.370	0.394	0.315
	20	0.384	0.411	0.341
Mincane	8	0.181	0.225	0.160
	12	0.245	0.265	0.215
	16	0.271	0.289	0.249
	20	0.310	0.349	0.278
Çakıldak	8	0.232	0.249	0.204
	12	0.284	0.324	0.246
	16	0.296	0.351	0.283
	20	0.331	0.372	0.3235
Sivri	8	0.215	0.234	0.185
	12	0.234	0.278	0.229
	16	0.298	0.316	0.278
	20	0.316	0.338	0.301

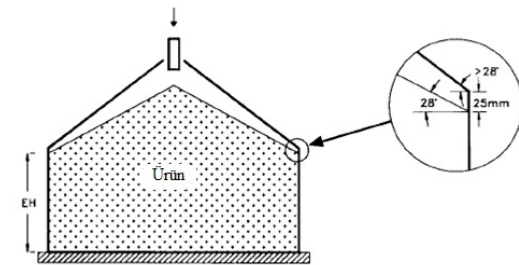
28 ° den Büyük Eğime Sahip Saçaklı Bunkerler: Bu depolar için saçak yüksekliği, deponun saçak yan duvar kesişim noktası 25 mm' den daha az veya hava geçirmez depolar için depo yan duvarının tepesinden yapı tabanının düz olan noktasına kadar olan mesafe olarak tanımlanır.

28 ° den Küçük Eğime Sahip Saçaklı Bunkerler: Bu depolar için saçak yüksekliği, yan duvar ürün kesişim noktasından yapı tabanına kadar olan mesafe olarak tanımlanır (Şekil 3.2).

Dağıtıcı Kullanılarak Doldurulan Bunkerler: Bir dağıtıcı veya doğal yığın açısını değiştiren dolgu cihazları kullanan depolarda özel durumlar dikkate alınmalıdır. Bu depolar için maksimum doldurma açısı olarak yataydan taneli ürün yüzeyine kadar olan açı dikkate alınmalıdır (Şekil 3.3).

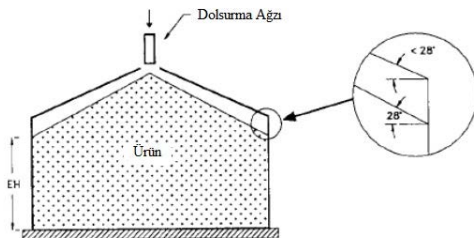


a)Çatı eğimi 280 'den büyük (saçak arası hava sızdırmaz)

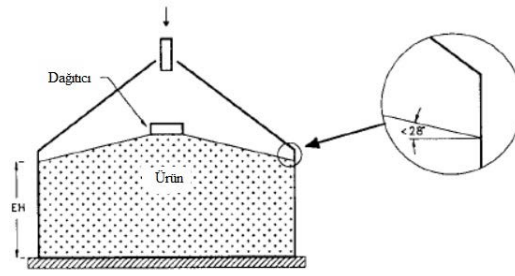


b)Çatı eğimi 280 'den büyük (saçak arası açık)

Şekil 3.1. Çatı eğimi 280 den büyük bunkerlerde saçak yüksekliği (ASABE,2012).



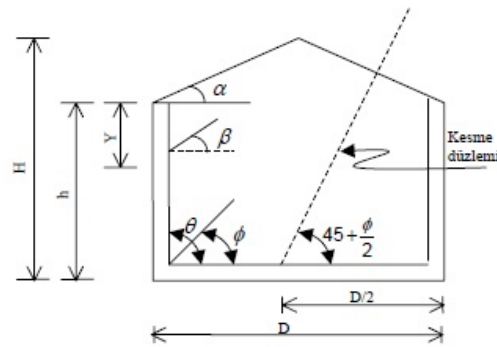
Şekil 3.2. Çatı eğimi 280 den küçük bunkerlerde saçak yüksekliği (ASABE,2012).



Şekil 3.3. Dağıtıcı kullanılarak doldurulan depolarda saçak yüksekliği (ASABE,2012)

Projelendirme Yükleri

Fındık muhafaza edildiği bunker depolarda yan ve düşey doğrultularda basınç oluşturur. Kesit görünüşü ve sistem detayları Şekil 3.4' de verilen bunker sistem fındık depolama yapılarında proje basınçlarının hesaplanmasında klasik Rankin eşitliği kullanılmaktadır (Öztürk ve Kibar, 2005).



Şekil 3.4. Depo kesit geometrisi (Öztürk ve Kibar, 2005).

Bunker sistem fındık depoları için;

Depolanan ürün üst düzeyinin altında Y derinliğinde oluşan yanıl duvar basıncı,

$$L = \gamma * Y * \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

Yanal proje basıncı,

$$L_p = \frac{1}{2} * \gamma * h^2 * \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

Depolanan ürün üst düzeyinin altında Y derinliğinde oluşan düşey basıncı,

$$V = \mu * \gamma * Y * \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

Toplam düşey basıncı,

$$V_T = \frac{1}{2} \mu * \gamma * h^2 * \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

eşitlikleri yardımıyla hesaplanabilir.

Eşitliklerde;

L = Depo üst düzeyinin altında Y derinliğinde oluşan yatay basınç (kg.f/m²),

L_p = Yatay proje basıncı (kg.f/m²),

V = Depo üst düzeyinin altında Y derinliğinde oluşan düşey basınç (kg.f/m²),

V_T = Toplam düşey basınç (kgf/m²),

γ = Fındık birim hacim ağırlığı (kg/m³),

ϕ = Fındık içsel sürtünme açısı (derece),

h = Fındık yığın yüksekliği (m),

μ = Cidar sürtünme katsayısı

Fındık Silolarında Yapısal Başarısızlıklar

Fındık depolamak amacıyla inşa edilen ve yapısal başarısızlık gösteren bunker silolarda ortaya çıkan sorunlar irdelendiğinde bunların temelde 4 nedenden ortaya çıktığı görülebilir. Bunlar;

- Projelendirme hataları,
- Yapısal hatalar,
- Kullanım hataları,
- Bakım hataları'dır.

Projelendirme hataları genellikle kısmi temel oturması ve yan duvarlarda yıkılma veya açılma şeklinde görülmektedir (Şekil 4.1, 4.2). Bunker siloların temel projelendirmesi diğer yapılarla hemen hemen aynıdır. Silo temelinde kısmi oturma çok görülen durum değildir. Böyle bir durumun olması halinde sonuç çok tehlikeli olmakta ve silonun çökmesine neden olabilmektedir. Bu nedenle temel projelendirmesinin uzman ve tecrübeli mühendislerce zemin koşullarına bağlı olarak ayrıntılı bir biçimde yapılması çok önemlidir (Kibar ve Öztürk, 2011).

Şekil 4.1' in incelenmesinden de görülebileceği gibi silo yan duvarı ürün tarafından uygulanan momenti karşılayamadığından yıkılmıştır. Şekil 4.2' den de görülebileceği gibi bunker sistemde inşa edilen silo yan duvarı ürün tarafından oluşturulan momenti karşılayamamaktadır. Bu nedenle silo yan duvarlarında açılmalar meydana gelmiştir. Olası bir yıkılmaya karşılık depo yan duvarları çelik profillerle desteklenmiştir.

Sonuç ve Değerlendirme

Tarım ürünlerinin üretilmesinin yanı sıra kullanıma kadar geçen süre içerisinde kalite ve kantiteden ödün vermeyecek bir şekilde muhafaza edilmesi de oldukça önemlidir. Depolama yapılarının kendilerinden beklenen işlevleri yerine getirebilmeleri, mühendislik

ilkeleri doğrultusunda projelendirmeleriyle mümkün olabilir. Silo tasarımı, mühendislik alanı içerisinde en zor konulardan birisidir.

Özellikle silolanacak ürünün fiziksel ve mekaniksel özelliklerinin iyi bilinmesi, silonun inşa edileceği zeminin iyi incelenmesi, depolama için en uygun yapı sistemi ve malzemenin çok iyi bir şekilde seçilmesi gerekir.



Şekil 4.1. Bunker sistem fındık silosunda yan duvar başarısızlığı



Şekil 4.2. Bunker sistem fındık silosunda yan duvar açılması

Ülkemiz dünyada fındık üretiminde ilk sırada bulunmaktadır. Fındık periyodisite gösteren bir ürün olması nedeniyle arz ve talep arasında uygun bir dengenin oluşturulması ve piyasaya fındık akışının düzenli olarak sağlanmasında uygun depolama sistemlerine gereksinim duyulur. Bu nedenle üretilen fındık 1 aydan 24 aya uzanacak bir periyot içerisinde depolanır. Ülkemizde fındık ihraç edilinceye kadar gerek kamu gerekse özel sektör tarafından depolanmaktadır. Depolama yapısı olarak boş bulunan her yapı bu amaç için kullanılmaya çalışılmaktadır. Bu tip gelişigüzel inşa edilen depolama yapılarında ise yapısal başarısızlık

kaçınılmaz bir sonuçtur. Bunker sistem fındık depolarından istenilen faydayı sağlayabilmek, bunker depolarında bir mühendislik yapısı olduğu göz önüne alınarak, yapının tekniğine uygun projelendirilmesiyle olasıdır.

Kaynaklar

- ASABE,2012. Procedure for establishing volumetric capacities of cylindrical grain bins. ASABE S413.1 Dec.97,
- Aydoğan, M., Altan, M.,1992. Betonarme silolar ve bunkerler (Ders Notları). İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Eurocode 1, 2004a. Basis of desing and actions on structures (EN 1991-1-4). General Actions Part 1-3: Snow Loads. European Committee for Standardisation, Brussels.
- Eurocode 1, 2004b. Basis of design and actions on structures (EN 1991-1-4). General Actions Part 1-4: Wind Loads. European Committee for Standardisation, Brussels.
- Eurocode 8, 2003. Desing of structures for earthquake resistance (EN 1998-4), Part 4: Silos, Tanks and Pipelines. European Committee for Standardization, Brussels.
- Horabik, J., Molenda, M., Ross, I., J., 1998. Comparison of load on cylindrical and conical model grain bins. Transactions of the ASAE, 41(2):459-463.

- Karaca, Z., 2000. Betonarme silindirik siloların deprem etkisindeki davranışlarının analitik ve sayısal yöntemlerle karşılaştırmalı olarak incelenmesi (Doktora Tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon,
- Kızıltan, A., Yalçın, H., 2010. Türkiye’de fındık sektöründe üreticilerin sorunları : Samsun ilinde bir uygulama. Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 24 (4), s.79-98.
- Kibar, H., 2006. Bazı fındık çeşitlerinde ürün nem kapsamı ile depolamada etkili şev karakteristikleri arasındaki ilişkiler (Yüksek Lisans Tezi). Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Samsun.
- Kibar, H.,2011. Tombul fındık depolamasında tane özelliklerine bağlı olarak ANSYS programıyla optimum silo tasarımı (Doktora Tezi). Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Samsun,
- Öztürk, T., Kibar, H., 2005. Taneli ürünlerde ürün şev karakteristiklerine bağlı depolama yükleri. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 1(1), s.132-139.
- Öztürk, T., Kibar, H., 2008. Silindirik fındık depolama yapılarında depo yükü projeleme parametreleri. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2 (2), s.98-103.