

YAYILIMLI RADAR İLE TAHIL SİLOLARINDA SEVİYE ÖLÇÜMÜ İÇİN YENİ VE PRATİK BİR YÖNTEM

Enes YİĞİT*

Alınma: 30.09.2016; kabul: 07.06.2017

Öz: Tahılın uzun süre saklanması için en önemli araç tahıl silolarıdır. Tahılın miktarının bilinmesi hayati öneme sahip olduğu için birçok ticari seviye ölçüm yöntemi (mekanik, ultrasonik, elektromanyetik-EM vs.) geliştirilmiştir. Bu yöntemler arasında yayılımlı radar (YR), tahribatsız algılama özelliğinden ötürü son yıllarda çok daha popüler bir seviye ölçüm tekniği haline gelmiştir. Ancak hem dar huzmeli aydınlatma kullanmak zorunda olan YR, hem de diğer metotlar tahılın seviyesini ancak tek bir noktadan ölçebilmektedirler. Bu çeşit bir ölçüm yönteminde tahılın konik tümsek yapısı tümüyle algılanamadığından, tüm bu yöntemler tam doğru sonuç verememektedir. Bu çalışmada silo içindeki tahılın miktarının tam olarak ölçülebilmesi için ilk kez en iyi ilinti arama tabanlı YR tekniği kullanılmıştır. Geliştirilen yöntemi test etmek ve performansını göstermek için ticari boyutlarda bir adet silo imal edilmiş ve YR ölçümleri gerçekleştirilmiştir. X-bantta geniş huzmeli EM aydınlatma ile tahılın olası tüm doluluk seviyesinin geri saçılım radar işaretleri elde edilmiş ve veri tabanına kayıt ettirilmiştir. Daha sonra, silo içindeki tahılın bilinmeyen miktarı daha önce kaydedilen veri tabanı ölçümleri ile karşılaştırılarak doğru şekilde tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Silo, Seviye ölçümü, Radar, Korelasyon

A New and Practical Method For Level Measurement at Gran Silos by Thru-Air Radar

Abstract: The grain silos are the most important tools to stock grain for a long duration. Since the knowledge of the quantity of the grain is crucially important, many commercial level measurement methods (mechanic, ultrasonic, electromagnetic-EM etc.) have been developed. Among these methods thru-air radar (TAR) has recently become more popular level measurement technique because of its non-destructive perception ability. However both TAR, which has to use narrow beam illumination, and other methods can only measure the level of grain from a single point. Since the conical bump structure of grain is not fully perceived in this kind of measurement method, all these methods cannot give exact results. In this study the best correlation search-based TAR technique is firstly used to accurately measure the quantity of grain inside a silo. To test the developed method and demonstrate its performance, a commercial sized grain silo is constructed and TAR measurements are performed. By using X-band wide-beam EM illumination, backscattering radar signs of the probable whole packness levels of the grain are gathered and recorded to data base. Then, the unknown amount of the grain inside a silo is accurately detected by comparing with previously recorded data base measurements.

Keywords: Silo, Level Measurement, Radar, Correlation

1. GİRİŞ

Gıda endüstrisinin en temel tüketim maddesi olan tahılın üretiminden nakliyesine, pazarlanmasından işleme tabi tutulmasına kadar her bir süreçte ihtiyaç duyulan en önemli gereksinimi bozulmadan muhafaza edilmesidir. Bu amaca yönelik olarak kullanılan ve ticari

*Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, KARAMAN
İletişim Yazarı: Enes Yiğit (enesyigit@kmu.edu.tr)

öneme sahip depolama aracı tahıl silolarıdır. Depolanan tahılın miktarının bilinmesi hasat, nakliye ve üretim basamaklarında ekonomik olduğu kadar hayati önemde sahiptir. Zira kıtlık ve savaş gibi durumlarda mevcut tahıl miktarının doğru bilinmesiyle gerekli tedbirler alınabilir ve kayıplardan kaynaklı ekonomik zararların önüne geçilebilir. Bu nedenden dolayı birçok seviye ölçüm metodu geliştirilmiştir [Lewis, 2004]. Bu yöntemler arasında en öne çıkan teknik yayılımlı radar(YR)(thru-air radar) tekniğidir [Yiğit vd., 2015]. YR sistemleri yönlü anten kullanarak tahıl yüzeyinden saçılan elektromanyetik (EM) dalgaları işleyerek seviye ölçümünü yapmaktadır. Ancak hem silo duvarlarından saçılacak yansımaları elimine etmek hem de çok yönlü (ÇY) (multipath-MP) saçılımların önüne geçmek için mevcut YR cihazları dar huzmeli EM aydınlatma yapacak şekilde tasarlanmıştır [Grover,1998]. Böylelikle YR tarafından üretilen EM yayılımlar sadece tahılın çok dar bir bölümünü EM olarak aydınlatmakta ve bu kısımdan saçılan sinyaller işlenerek tek bir (noktasal) menzil bilgisi üretilmektedir. Ancak dar huzmeli ışın kullanımı tahıl doluluğu ve boşaltımı esnasında silo içinde oluşacak konik yapıların tespitini mümkün kılmadığından hacimsel seviye ölçümünü değil yaklaşık seviye miktarını verebilmektedir. Geniş huzmeli EM ışın yapan YR sistemleri kullanıldığında ise ÇY saçılımlar ve silo duvarı kaynaklı yüksek genlikli geri saçılımlar hedef yansımaları bastıracağı için seviye ölçümü zorlayıcı bir problem haline gelmektedir. Diğer yandan depolanan tahılın olası farklı miktarlarına ait EM saçılım bilgisi önceden tespit edilerek, korelasyon [Matthew vd., 2009] kıyaslaması ile alternatif bir çözüm yöntemi geliştirilebilir. Böylelikle dar huzmeli yayılma ihtiyacı duymadan geniş huzmeli algılama ile tahılın her türlü doluluk seviyesine ait radar işaretleri daha sonra kullanılmak üzere kayıt edilebilir. Miktarı bilinmeyen tahıla ait sonradan elde edilen EM ölçüm verisi önceden yapılmış ölçümlerle kıyaslanarak silodaki tahılın yaklaşık miktarı tespit edilebilir.

Bu çalışmada tahıl silolarında depolanan tahılın miktarının belirlenmesine yönelik olarak ilk kez çapraz korelasyon tabanlı kıyaslamalı bir tespit yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntem sayesinde tahıl silosunun doluluk öncesi hızlı bir şekilde ilinti ve EM kıyas verileri elde edilmiş ve daha sonra doldurulan silonun tahıl miktarı çok yüksek doğrulukla tespit edilmiştir. Bu amaca yönelik olarak bir adet test silosu imal edilmiş ve X-bantta monostatik-benzeri konfigürasyonda iki adet boyunuz tipi antenle S_{12} verileri elde edilerek yaklaşık tahıl miktarı tespit edilmiştir. Bölüm 2’de, test düzeneği ve uygulanan yöntem ayrıntılı bir şekilde sunulurken üçüncü bölümde gerçekleştirilen deneyler ve sonuçları verilmiş ve çalışma özetlenmiştir.

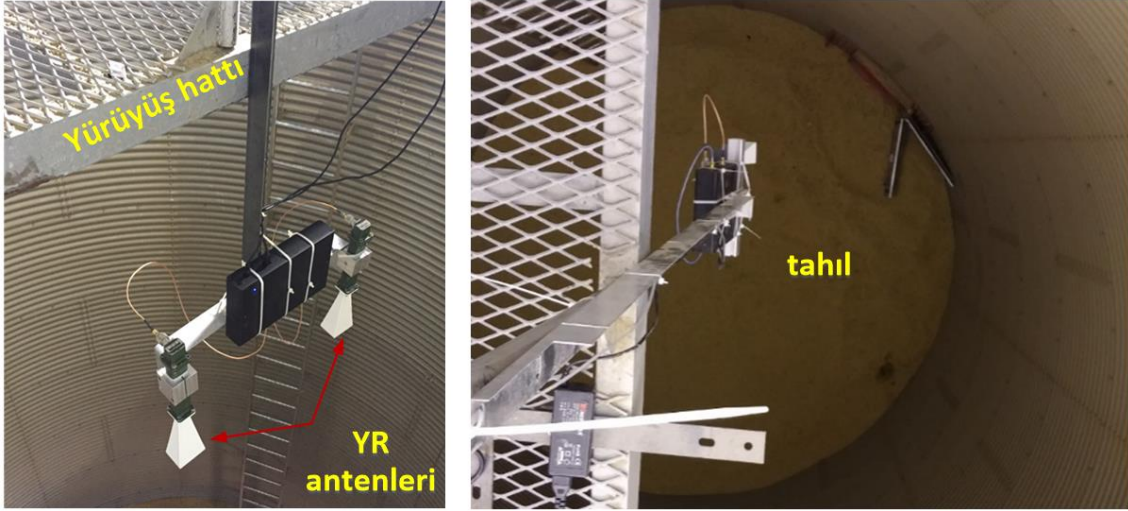
2. TEST DÜZENEGİ VE UYGULANAN YÖNTEM

2.1 Test düzeneği

Geliştirilen yöntemin test edilebilmesi için bir adet deneysel test silosu imal edilmiştir. 4.52 m çapında 11.83m uzunluğundaki silo içine, deneylerin yapılabilmesi için Şekil 1(a)’da gösterilen yürüyüş hattı eklenmiştir. Silo doldurulurken dökülen tahılın, yürüyüş hattına temas etmemesi için 4 metre uzunluğunda bir doldurma borusu da eklenmiştir. 8.5-10 GHz bandında gerçekleştirilen deneylerde S_{12} geri saçılım verisi Şekil 2’de görüldüğü gibi monostatik-benzeri (Quasi-monostatic) düzencekle toplanmıştır.



Şekil 1:
Deney silosu içine monte edilmiş yürüyüş ve ölçüm hattı



Şekil 2:
Silo içi seviye ölçümüne yönelik kullanılan yayımlı radar sistemi ve ölçüm esnasından bir sahne

Deneylerde %12 nemliliğe sahip ve yoğunluğu 0.690 Kg/dm^3 olan kabuklu arpa kullanılmıştır. Test silosunun hemen yanında bulunan yedek depo silosunda depolanan arpa, her bir ölçümde elevatör yardımıyla test silosuna doldurulmuş ve böylelikle farklı tonajlardaki tahıla ait seviye ölçüm deneyleri gerçekleştirilmiştir.

2.2 Uygulanan Yöntem

2.2.1 Temel Radar Algılama Prensibi

Yayımlı Radar yönlü bir anten vasıtasıyla belirli bir bölgeye yönelik olarak gönderilen EM yayımlıların hedef bölgeden geri saçılmalarını toplamaktadır. Adım frekanslı sürekli dalga radar

(AFSDR) tabanlı YR sistemlerinde maksimum anlamlı menzil Δz adım frekans sayısı ile menzil çözünürlüğü δ_z ise bant genişliği ile doğru orantılıdır [Yiğit vd. , 2013; Yiğit vd. ,2007]. Farklı tahıl miktarlarına ait EM saçılım bilgilerinin kaydedildiği bu çalışmada bu iki parametre kıyaslanacak sinyaller arasındaki ilintinin hassasiyetini belirlemektedir. Bant genişliği düştüğü zaman sinyal çözünürlüğü de düşeceği için, korelasyon çözünürlüğü de düşük olacaktır. Eğer Δz olası hedef menzilden daha büyük olacak şekilde belirlenirse ÇY yansımaların, menzil profilinde belirsizliğe neden olmasına engel olacaktır. Bu nedenle bu iki radar sistem parametreleri dikkate alınarak radar menzil profilleri elde edilmiştir. Radar menzil profili hedef bölgedeki güçlü saçıcıların menzil bilgisini içeren vektör olarak tanımlanabilir [Yiğit vd. ,2011] ve aşağıda tanımlandığı şekilde elde edilebilir: Antenlerden R mesafe uzaklıktaki hedeflere çarpan düzlemsel dalga için, geri yansıyan sinyal $s(w)$ şu şekilde ifade edilir;

$$S(w) = \rho A e^{-j2\frac{w}{c}R} \quad (1)$$

burada A iletilen sinyalin genliği ρ hedeflerin yansıtma katsayısı ve R ise vericiyle saçıcı hedefler arasındaki mesafeyi ifade eden menzil vektörüdür, c ise çevrelenen ortamdaki EM dalga hızıdır. $w = 2\pi f$ olarak tanımlanan açısal frekanstır. Eğer $S(w)$ sinyalinin ters Fourier dönüşümü (TFD) alınırsa zaman-bölgesi sonucu şu şekilde olacaktır.

$$s(t) = \frac{\rho A}{\sqrt{2\pi}} \delta(t - 2\frac{R}{c}) \quad (2)$$

burada $\delta(t - 2\frac{R}{c})$, birim darbe fonksiyonu olup saçıcı mekanizmanın zaman eksenindeki gecikme bilgisini içeren ve aynı zamanda konum bilgisini de barındıran bir niceliktir. $s(t)$ sinyalinde $t = 2r/c$ dönüşümüyle saçıcı mekanizmaların konumunu içeren $s(r)$ menzil profil vektörü elde edilir [Yiğit vd. , 2013; Yiğit vd. ,2007]. Frekans verisinin TFD' si çoğunlukla hedefe ait konum bilgisini net bir şekilde verirken, silo içi menzil profillerinden hedef konumunun ve yansıtırlık bilgisinin çıkartılması oldukça zordur. Bu nedenle farklı tonajlardaki seviyelere karşılık gelen silo içi geri yansıma sinyallerinden elde edilen menzil profilleri kaydedilmiş ve daha sonra yapılan ölçümler bu kayıtlarla kıyaslanarak tahıl seviyesi tespit edilmiştir. Bu kıyaslama yapılırken iki sinyal arasındaki benzerlik ölçütünden yararlanılmış ve bunun için çapraz korelasyon tekniği uygulanmıştır.

2.2.2 Çapraz Korelasyon

Çapraz korelasyon sinyal işlemede, iki sinyal arasındaki benzerlik ölçütü olarak tanımlanmaktadır [Matthew, 2009]. x ve y herhangi iki vektör olmak üzere çapraz korelasyon sonucu $K_{xy}(n)$ şu şekilde tanımlanır.

$$K_{xy}(n) = (x \star y)[n] = \sum_{m=-\infty}^{\infty} x^*[m]y[m+n] \quad (3)$$

Burada x^* , x sinyalinin kompleks eşleniğidir. x sinyali N elemanlı bir vektör olmak üzere kendisi ile çapraz korelasyonu sonucu oluşan sinyal K_{xx} $2N - 1$ elemanlı bir vektör olacaktır. Oluşan bu K_{xx} vektörünün ilk $N - 1$ değeri ile son $N - 1$ değeri simetrik olduğu için iki vektörün birbirlerine simetrik oranı aşağıda verilen K_i ilinti vektörünü oluşturmaktadır.

$$K_i = \frac{|K_{xx}(N_1)|}{|K_{xx}(N_2)|} \text{ öyle ki ; } N_1 = 1, 2, \dots, N - 1 \text{ ve } N_2 = 2N - 1, 2N - 2, \dots, 2N - (N - 1) \quad (4)$$

Bu vektörün ortalama değeri K_r bu çalışmada kullanılan korelasyon katsayısı olarak değerlendirilmiştir.

$$K_r = \frac{\sum_{n=1}^{N-1} \frac{|K_{xx}(n)|}{|K_{xx}(2N-n)|}}{N-1} \quad (5)$$

Denklem 5’de elde edilen K_r değeri 1’e ne kadar yakınsa kıyaslanan iki sinyal birbiriyle o kadar ilintili demektir. Bu nedenle bu çalışmada, seviyesi bilinmeyen silo içinde yapılan ölçüm sinyali, daha önceden yapılan ve veri tabanında kayıt edilen sinyallerle sırayla korelasyona tabi tutulup K_r değerleri elde edilmiş ve bu değerler arasında 1’e en yakın değer alınarak silodaki tahılın yaklaşık seviyesi tespit edilmiştir.

2.2.3 Ölçüm yöntemi

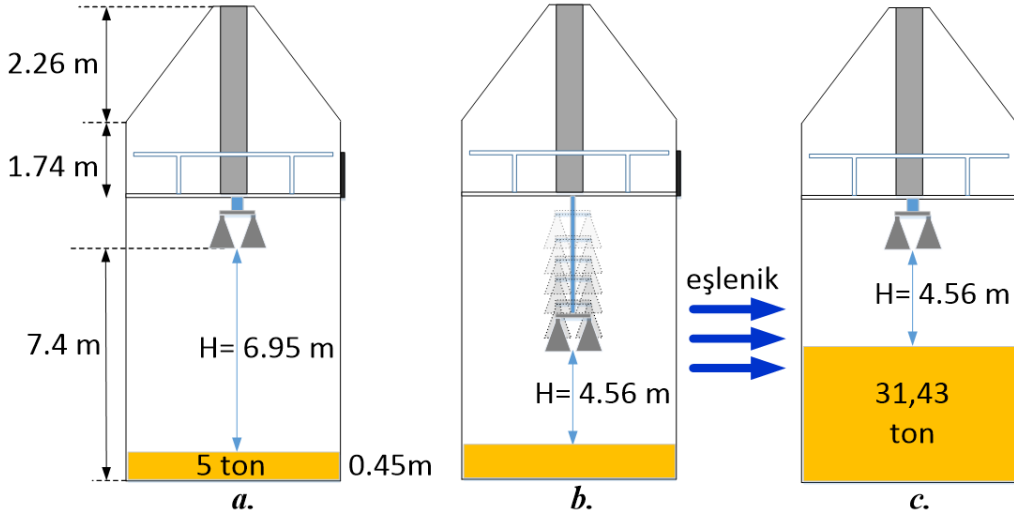
Tahıl seviyesinin tespitinde kıyaslama yönteminin doğru yapılabilmesi için tüm ölçümler aynı radar parametreleri ile gerçekleştirilmiştir. 8.5 – 10 GHz frekans bandında gerçekleştirilen ölçümlerde menzil çözünürlüğü 10 cm olup maksimum anlamlım menzil 20 m olacak şekilde frekans adım sayısı belirlenmiştir. Böylelikle ÇY yansımalar, silo içinde kat edeceği mesafe doğrudan geri yansımalarından (1 – 8 m’lik aralık) daha fazla olacağından menzil profilinde daha uzak mesafelerde oluşacak ve bu da karşılaştırılacak sinyallerin daha gürültüsüz olmasına olanak sağlayacaktır. Ölçüm parametreleri tanımlandıktan sonra ölçüm yöntemi için pratik bir uygulama gerçekleştirilmiş ve veri tabanı oluştururken siloyu tamamen doldurmak yerine, antenler tahıla yaklaştırılmıştır. Bunun için siloya ilk olarak yaklaşık 5 ton tahıl doldurulmuş ve bu tahılın tüm silo yüzeyine eşit olarak yayılması için Şekil 3’de gösterildiği gibi silo içine girilerek tahıl bir fırça yardımı ile tüm yüzeye yayılmıştır. Daha sonra şekil 4(a)’da temsil edildiği gibi anten tahıl arasındaki mesafe lazer metre ile ölçülmüştür. 5 ton arpa doldurulan siloda tahıl seviyesi yaklaşık 45 cm olarak ölçülmüştür. Bu konuma karşılık gelen S_{12} geri saçılım verisinin TFD’ si alınarak menzil profili elde edilerek kayıt edilmiştir. Daha sonra antenler Şekil 4(b)’de temsil edildiği gibi 20’şer cm aralıklarla adım adım, tahıla yaklaştırılmış ve her adımdaki menzil profilleri kayıt edilmiştir. En son antenler ile tahıl arası 4.56 m olacak şekilde ölçümler tamamlanmıştır. Bu işlem antenler sabit kalmak şartı ile tahılın adım adım doldurulması ile de elde edilen sonuca denk sonuçlar sunmaktadır. Şekil 4(c)’de temsil edildiği gibi, anten ve tahıl arasındaki seviye aynı olduğu zaman ölçüm sonuçları da aynı değeri vermektedir. Böylece 12 farklı ölçüm noktasından toplanan EM saçılım sinyalleri ve bu ölçümlere karşılık gelen tahıl miktar bilgileri seviye ölçümünde kullanılmak üzere veri tabanında kayıt edilmiştir.



Şekil 3:

Farklı seviyelere ait EM saçılım bilgisinin toplanabilmesi için düzleştirilen tahıl yüzeyi.

Daha sonra antenler ilk konumuna getirilmiş ve sabitlenmiştir. Bu işlemin ardından siloya depo silodan farklı tonajlarda tahıl doldurulmuş ve Bölüm 2.2.2’de anlatılan yöntemle elde edilen geri saçılım sinyali veri tabanındaki 12 farklı sinyal ile kıyaslanarak en yakın ilinti aranmış ve silodaki tahıl miktarı tespit edilmiştir.



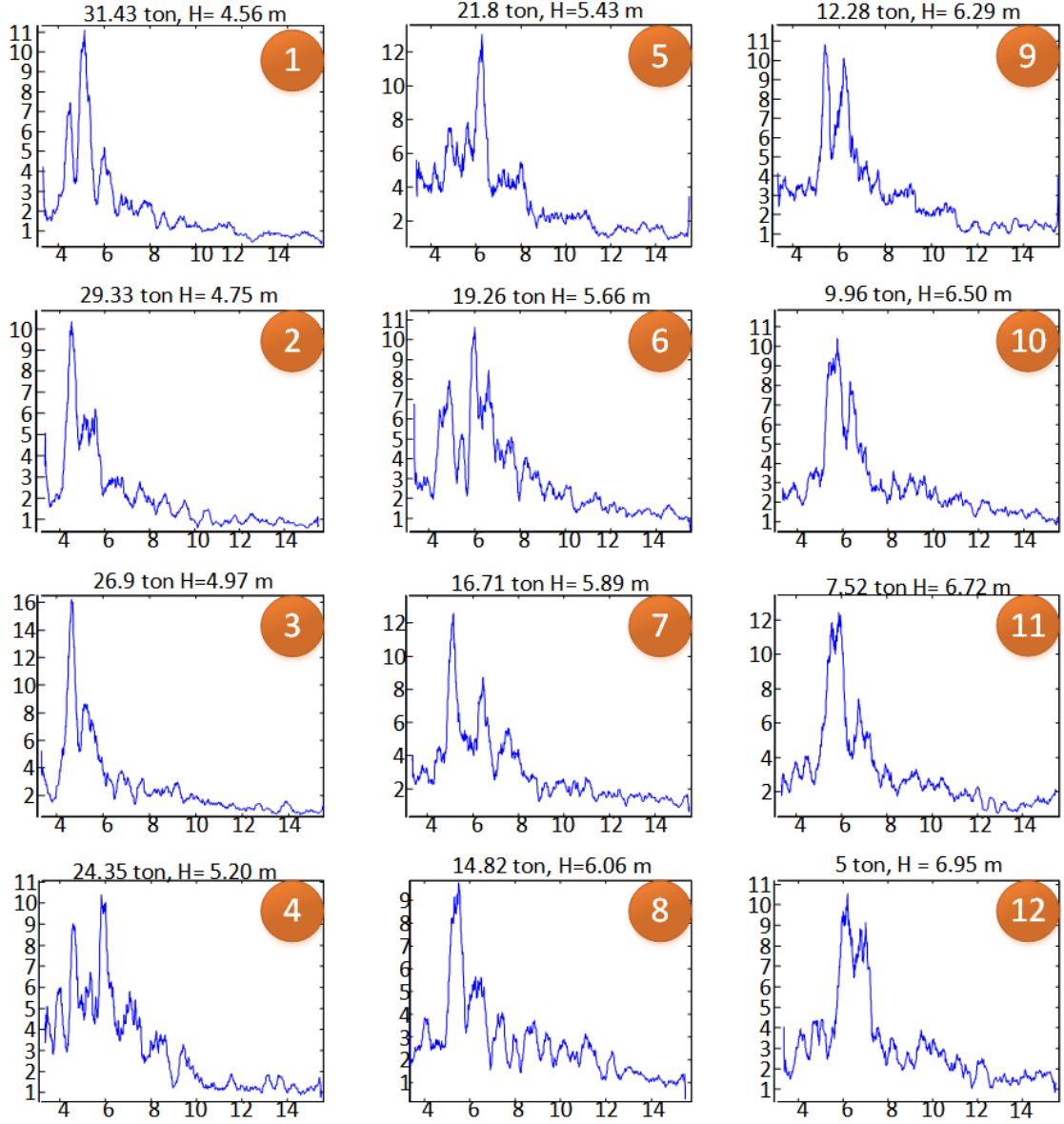
Şekil 4:

Farklı miktarlara ait EM saçılım bilgisinin elde edilmesi. *a.* Anten tahıl arası mesafe 6.95 m iken yapılan ölçümün temsili, *b.* Anten 20 cm aralıklarla tahıla doğru hareket ettirilerek her bir adımda yapılan ölçümün temsili, *c.* Antenin tahıla doğru hareket etmesi ile tahıl yüzeyinin yükselmesi arasındaki çifteşik durumunun temsili

3. DENEYLER VE SONUÇLAR

3.1 Silo içi seviye ölçüm deneyleri

Bölüm 2.2.3'de anlatılan yöntemle anten tahıl arasındaki seviye 4.56 m ile 6.95 m arasında olacak şekilde antenler 12 adımda ortalama her 20 cm de bir hareket ettirilmiş ve her bir ölçümde elde edilen menzil profilleri Şekil 5'te çizdirilmiştir. Şekil 5'de verilen her bir grafiğin dikey eksenini sinyalin göreceli genlik bilgisini içerirken, yatay eksenini antenden olan menzil bilgisini ve dolayısıyla saçıcı mekanizmaların antene olan uzaklığını içermektedir. Şekil 5'te görüldüğü gibi anten tahıl arasındaki mesafe arttıkça yüzeye ait baskın saçıcı mekanizma bozulmuş göstermekte ve konumu uzaklaşmaktadır. Yapılan her bir ölçümde elde edilen sinyalin kaç tonluk tahıla karşılık geldiği Şekil 5'te her bir grafiğin üzerinde belirtilmiş ve her bir grafik numaralandırılmıştır. Bu işlem yapıldıktan sonra antenler Şekil 4(a)'da temsil edilen konumuna geri getirilmiş ve seviye ölçüm deneylerine başlanmıştır.

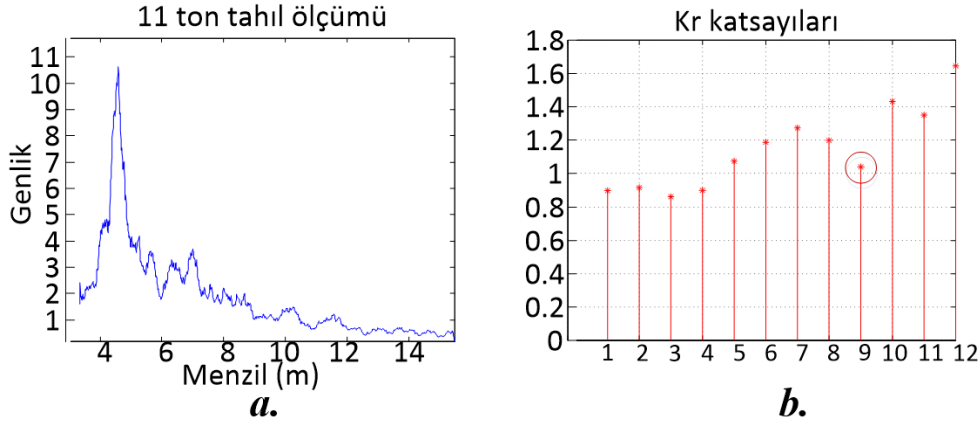


Şekil 5:

Veri tabanına kayıt edilen 12 farklı seviyeye ait geri saçılım sinyalinin menzil profilleri ve karşılık gelen tonaj miktarı

3.1.1 11 ton tahıl doldurulmuş silo için seviye ölçümü

Farklı tonajlara ait EM saçılım bilgisi elde edildikten sonra 5 ton tahıl olan siloya 6 ton daha tahıl ilave edilmiştir. Daha sonra tahıl yüzeyi düzleştirilerek S_{12} ölçümü elde edilmiş ve TFD'si alınarak menzil profili Şekil 6(a)'da çizdirilmiştir. Daha sonra bu sinyalin en ilintili olduğu seviyeyi bulmak için Şekil 5'de verilen 12 farklı sinyal ile çapraz korelasyonu alınmış ve Denklem 5'de ki K_r değerleri tespit edilerek Şekil 6(b)'de verildiği gibi çizdirilmiştir. Şekil 6(b)'de ki değerler incelendiğinde 1'e en yakın değer veri tabanındaki 9. sinyal ile korelasyon sonucu olduğu tespit edilmiştir. Şekil 5'de görüldüğü üzere 9. menzil profili 12.28 ton tahıl karşılık gelmektedir. Bu sonuç yaklaşık 1.28 ton hata ile silodaki tahıl miktarını vermektedir.

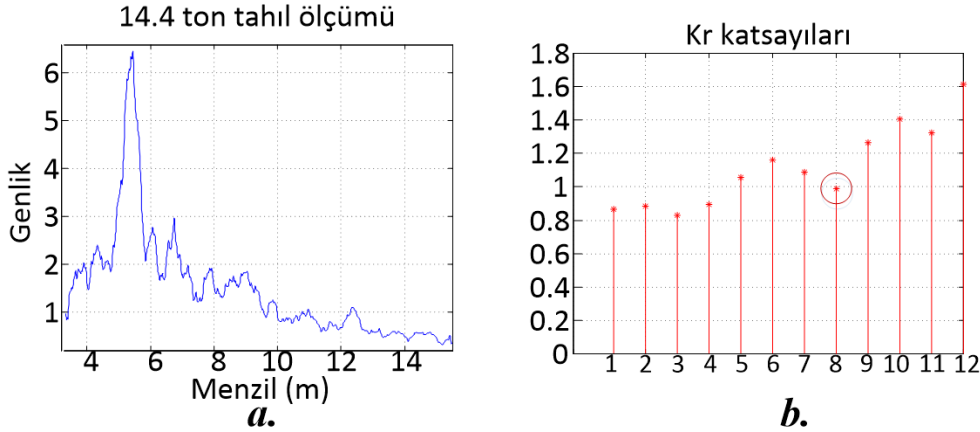


Şekil 6:

11 ton tahıl dolu silodan elde edilen, *a.* S_{12} verisinin menzil profili *b.* Sinyalin veri tabanındaki diğer sinyallerle korelasyon sonucu

3.1.2 14,4 ton tahıl doldurulmuş silo seviye ölçümü

Birinci deneyden sonra siloya yaklaşık 3,4 ton daha tahıl ilave edilmiş ve silodaki toplam tahıl miktarı 14,4 ton olmuştur. Birinci deneyde yapılan ölçümler burada da tekrar edilmiştir. Şekil 7(a)'da yapılan ölçümün menzil profili verilirken, Şekil 7(b)'de korelasyon sonuçları verilmiştir. Şekil 7(b) incelendiğinde en yakın ilintinin veri tabanındaki 8. sinyal ile olduğu tespit edilmiştir. Buna göre önerilen yöntemle silo içindeki tahıl Şekil 5'de görüldüğü üzere 14,82 ton olarak tespit edilmiştir. Bu ölçümde de yaklaşık 0.42 tonluk bir hata ile silodaki tahıl miktarı oldukça yüksek doğrulukla tespit edilmiştir.

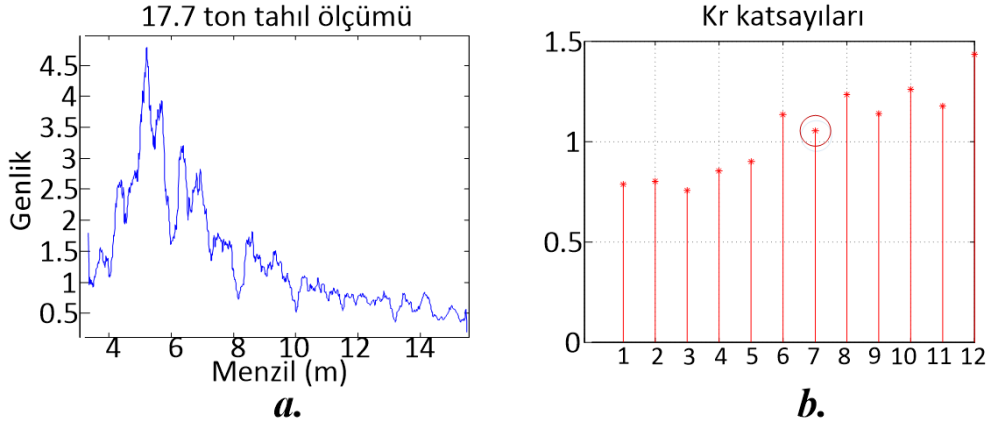


Şekil 7:

14,4 ton tahıl dolu silodan elde edilen, *a.* S_{12} verisinin menzil profili *b.* Sinyalin veri tabanındaki diğer sinyallerle korelasyon sonucu

3.1.3 17,7 ton tahıl doldurulmuş silo seviye ölçümü

İkinci deneyin ardından siloya yaklaşık 3,3 ton daha tahıl ilave edilmiş ve silodaki toplam tahıl miktarı 17,7 ton olmuştur. Birinci deneyde yapılan ölçümler aynı şekilde tekrar edilmiştir. Şekil 8(a)'da yapılan ölçümün menzil profili Şekil 8(b)'de korelasyon sonuçları verilmiştir. Şekil 8(b) incelendiğinde en yakın ilintinin veri tabanındaki 7. sinyal ile olduğu tespit edilmiştir. Buna göre önerilen yöntemle silo içindeki tahıl Şekil 5'de görüldüğü üzere 16,71 ton olarak tespit edilmiştir. Bu ölçümde de yaklaşık 1 tonluk bir hata ile silodaki tahıl miktarı elde edilmiştir.

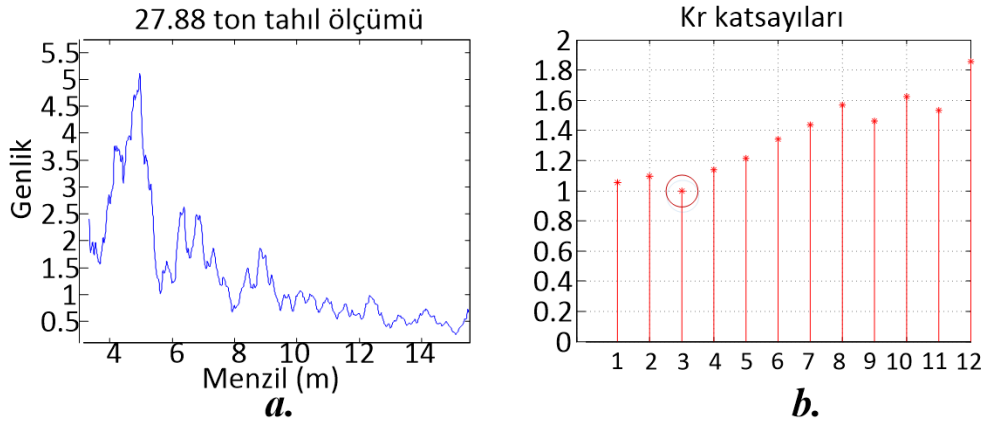


Şekil 8:

17,7 ton tahıl dolu silodan elde edilen; *a.* S_{12} verisinin menzil profili *b.* Sinyalin veri tabanındaki diğer sinyallerle korelasyon sonucu

3.1.4 27,8 ton tahıl doldurulmuş silo seviye ölçümü

Son deneyde, siloya yaklaşık 10 ton daha tahıl ilave edilmiştir. Mevcut tahıl miktarı lazer metre ile yapılan ölçümle yaklaşık 27,8 ton olarak hesaplanmıştır. Daha sonra önerilen teknik ile elde edilen menzil profili Şekil 9(a)'da çizdirilmiştir. Bu grafiğin veri tabanındaki sinyallerden hangisi ile en iyi uyduğunu tespit etmek için önerilen çapraz korelasyon yöntemi uygulanmış ve Şekil 9(b)'de sonuçları verilmiştir. Şekil 9(b)'de ki sonuçlar incelendiğinde yapılan ölçümün en iyi Şekil 5'de verilen veri tabanındaki 3. menzil profili ile ilintili olduğu bulunmuş ve 26,9 ton olarak tespit edilmiştir. Bu deneydeki hata da yaklaşık 1 ton olup üç deneydeki hata oranları birbirini yakın bulunmuştur.



Şekil 9:

27,8 ton tahıl dolu silodan elde edilen; *a.* S_{12} verisinin menzil profili *b.* Sinyalin veri tabanındaki diğer sinyallerle korelasyon sonucu

3.2 Sonuçlar

Bu makalede tahıl silolarında seviye ölçümüne yönelik olarak yeni ve pratik bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntem geleneksel çapraz korelasyon tekniği ile çalışan klasik bir benzerlik arama olarak da adlandırılabilir. Bu çalışmada öncelikle farklı seviyelere ait EM saçılımlar elde edilmiş ve daha sonra miktarı tespit edilmek istenen tahıldan saçılan yansımalar bu ölçümlerle kıyaslanmış ve en iyi ilintili seviye bulunarak tahıl miktarı tespit edilmiştir.

Yapılan her ölçümde tahıl seviyesi yaklaşık 1 tonluk bir hata ile tespit edilmiştir. Bunun sebebi veri tabanındaki ölçüm çözünürlüğüdür. Veri tabanındaki ölçüm aralığı daha da arttırılırsa ölçüm hataları düşürülebilir. Ayrıca önerilen teknikte tahıl silosunun tamamen doldurulup boşaltıma ihtiyacı duyulmadan antenlerin hareket ettirilmesi ile hızlı bir şekilde veri tabanı oluşturulması, yöntemi pratik kılmıştır. Fakat bu teknikte veri tabanındaki kayıtlı sinyaller düzgün yüzeyli tahıl yığınının ait olduğu için, deneylerde tahılın yüzeyinin düzeltilmesi ihtiyacı doğmuştur. Ancak gerçek silo uygulamalarında tahılın doldurulup boşaltılmasından kaynaklı tepelikler oluşacağı için bu etkinin de hesaba katılarak daha hassas ölçüm yöntemleri geliştirilmesi gerekmektedir. Bu makalede önerilen kıyaslama yönteminin her türlü silo modeline uygulanabilmesi için ölçeklendirme modeli ile çalışma frekansı 10 kat arttırılarak silo boyutu ve tahıl tanecik boyutu 10 kat küçültülebilir. Daha sonra tahılın her türlü olası doluluk seviyesine ait EM saçılım bilgisi toplanarak gerçek silolarda kıyas tablosu olarak kullanılabilir. Böylece 100m³ lük bir siloyu doldurup boşaltma işlemi yerine, 10m³ lük bir mini siloda da aynı sonuçlar elde edilebilir. Bu özelliğinden dolayı bu makalede önerilen teknik tahıl silolarında seviye ölçümüne yönelik olarak yeni bir uygulamanın ilk adımlarını göstermiş ve yapılan deneylerle de tutarlılığı ispatlanmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TUBİTAK-1507 destek programı kapsamında 7140067 proje numarasıyla desteklenmiştir. Yazar, silo içi ölçümlerde yardımcı olan Hakan İŞİKER'e ve deney düzeneğinin kurulmasını sağlayan SMARTMER Bilişim Şirketine teşekkürlerini sunar.

KAYNAKLAR

1. Grover R. (1998) Radar level measurement – an overview, SA Instrumentation and Control.
2. Lewis J. D. (2004) Technology Review Level Measurement of Bulk Solids in Bins, Silos and Hoppers” 2004 Monitor Technologies LLC.
3. Matthew R., Bucci B., Viperman J., Allanach J., Abraham B. (2009) Microphone Array Analysis Methods Using Cross-Correlations, Proceedings of 2009 ASME International Mechanical Engineering Congress, Lake Buena Vista, FL. doi:10.1115/IMECE2009-10798
4. Yiğit E., Demirci S., Ozdemir C., Tekbas M. (2013) Short-Range Ground-based Synthetic Aperture Radar Imaging: Performance Comparison between Frequency-Wavenumber Migration and Back-projection Algorithms, Journal of Applied Remote Sensing, 7(1), 1-24. doi:10.1117/1.JRS.7.073483
5. Yiğit E., İşiker H., Toktaş A., Saibun T. (2015) Cs-Based Radar Measurement of Silos Level, 2015 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 26-31 July 2015. doi: 10.1109/IGARSS.2015.7326638
6. Yiğit, E., Demirci, Ş, Özdemir, C., Kavak, A. (2007) A Synthetic Aperture Radar Based Focusing Algorithm For B-Scan Ground Penetrating Radar Imagery, Microwave Optical Technology Letters, 49(10), 2534-2540. doi: 10.1002/mop.22724
7. Yiğit E., Unal A., Demirci S., Vertiy A., and Ozdemir C. (2011) An Adapted Matched Filter Algorithm for Millimeter Wave Ground Based Squint Mode SAR Applications, The International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves, Houston Texas, pp. 1- 2. doi: 10.1109/irmmw-THz.2011.6105117