

Sirkülasyonun Su Alma Borusuna Ait Kritik Batıklığa Etkisi

Fikret KOCABAŞ^{1*}, Nevzat YILDIRIM², Ercan GEMİCİ¹

¹Bartın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bartın / Türkiye

²Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara / Türkiye

Yayın Bilgisi

Yayın Geçmişi

Geliş T.: 11.03.2013

Revizyon T.: 25.03.2013

Kabul T.: 08.04.2013

Anahtar Kelimeler

Kritik Batıklık
Yapay Sinir Ağları
Regresyon
Su Alma Ağızı

Keywords

Critical Submerge
Artificial Neural Networks
Regression
Intake

Özet

Bu çalışmada, akıma uygulanan sirkülasyonun su alma ağızına ait kritik batıklık üzerine etkisi araştırılmıştır. Durgun su gövdesinde yönlendirici kanatlar vasıtasıyla sirkülasyon oluşturuldu ve düşey yukarı su alma borusu kullanılarak deneyler yapıldı. Teorik sonuçlar ve deneysel veriler karşılaştırıldı. Akıma uygulanan sirkülasyonun sebep olduğu radyal doğrultudaki dışarı doğru merkezkaç kuvvet bileşeninin, kritik batıklık üzerinde çok etkili olduğu görüldü.

Elde edilen deneysel verilerden faydalanarak yapay sinir ağları ve regresyon modelleri kurulmuş ve modellerle kritik batıklığın belirlenmesi araştırılmıştır. Ölçülen değerlerle modellerin tahminleri arasındaki hatalar belirlenmiş, model performansları kendi arasında karşılaştırılmıştır. Kritik batıklığın tahmininde YSA modelinin regresyon modellerine göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Effects of Circulation on the Critical Submergence of an Intake

Abstract

In this study, the effect of circulation on the critical submergence of an intake is presented. Experiments were conducted on a vertically upward intake in a circulation imposed still-water reservoir. The circulation imposed on the flow causes an outward centrifugal force component in radial direction due to which the critical submergence considerably increases.

In this study, the usability of artificial neural networks and regression modelings on the determination of the submergence ratio was investigated using the 45 data which are taken from the experiments. Errors between the measured values and model predictions were determined; the model performances were compared with each other. Model results shows that ANN modeling was better than regression modelings on prediction of the critical submergence.

1. GİRİŞ

Deniz, göl, nehir veya kanal gibi herhangi bir su gövdesinden ihtiyaç duyulan su alınırken bir su alma ağızı kullanılır. Hidroelektrik santrallerde baraj rezervuarı ile türbinlerin arasında bulunan basınçlı su iletim hattında su darbesiyle meydana gelen salınımların sebep olduğu zararlı etkileri önlemek amacıyla büyük su depoları şeklinde olan denge bacaları tesis edilir. Denge bacasındaki su seviyesinin aşırı düşmesi durumunda enerji tüneline hava kaçabilir. Bu durumu engellemek için minimum su seviyesi ile cebri boruların üzerinde kalacak su yüksekliğinin vorteks oluşumunu ve cebri borulara hava girişini önleyecek miktarda olması gerekmektedir. Akım derinliğinin küçük olması durumunda su yüzeyinde ağız etrafında havalı çevrinti oluşur. Çevrinti su alma ağızına ulaşırsa şiddetine bağlı olarak büyük miktarda hava girişi olur. Su alma ağızlarında hava girişi veya serbest havalı çevrinti oluşumu hidrolik mühendisliğinde karşılaşılan önemli problemlerden biridir. Su alma ağızına giren hava, su alma düzeneğinin içerisinde genişleyerek akım kesitini küçültmekte ve debide önemli ölçüde azalmaya sebep olmaktadır. Düzenek bir boru, pompa veya türbinle temasta ise, hava girişi pompa veya türbinde verim kaybına, kavitasyona ve boru hatlarında büyük gürültülere sebep olur.

Su alma ağızının su yüzeyine olan düşey mesafesi “batıklık” olarak adlandırılır. Ağızlarda batıklık miktarı kritik bir değer altına düştüğünde su yüzeyinde oluşan

serbest çevrinti su alma ağızına girmektedir. Havalı çevrintinin en alt ucunun su alma ağızına ulaştığı andaki batıklık değerine de “kritik batıklık” denir^[1].

Bu çalışmada, su alma borusunun ve akıma uygulanan sirkülasyonun kritik batıklık üzerindeki etkileri üzerine deneyler yapılmış ve yapay sinir ağları (YSA) ile regresyon modelleri kullanılarak batıklığın belirlenmesi araştırılmıştır. Modellerin oluşturulmasında 45 adet deneysel veri kullanılmıştır.

Su alma ağızları üzerinde oluşan serbest çevrinti ve hava girişi ile ilgili olarak çok sayıda deneysel veya teorik çalışma vardır. Serbest çevrinti ve hava girişi üzerine yapılan çalışmalar ağız civarındaki akımın son derece karışık olması nedeniyle büyük oranda deneysel yapılmıştır.

Denny^[2], borunun yan duvarlara yakın olması durumunda batıklığın daha az alınabileceğini, %1 hava girişinin santrifüj pompaların veriminde %15’ e kadar azalmaya sebep olduğunu göstermiştir. Markland ve Pope^[3], kuyulardaki su alma boruları ile yaptıkları deneysel çalışmalarda su alma ağızındaki emme hızı ile batıklık arasında bir ilişkinin olduğunu belirtmiştir.

Gulliver ve Rindels^[4], ölü sonlu kanalda sona doğru bir su alma ağızı yerleştirerek bu ağza değişik açılarla yaklaşan akım göndermiş, yaklaşık açılarının serbest çevrinti ve hava girişi üzerinde etkili olduğunu ispatlamıştır. Deney sonuçlarıyla Froude sayısının kritik batıklık üzerindeki etkisinin ihmal edilebileceğini göstermiştir.

*Sorumlu Yazar: Kocabaş, F., fkocabas@bartin.edu.tr

Jain vd.^[5,6], silindirik şeklindeki havuzda yönlendirici kanatlar ve farklı sıvıların deneyler yapmış, viskozitenin ve sirkülasyonun kritik batıklık üzerine etkisini araştırmıştır.

Yıldırım ve Kocabaş^[7,8], potansiyel akım kabulü yaparak akıma uygulanan sirkülasyonun kritik batıklık üzerindeki etkilerini incelemiş ve matematiksel ifadeler elde etmiştir. Çalışmalarında deneysel verilerle teorik sonuçlar arasında iyi bir uyum elde edildiği ve potansiyel çözümün çok iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Yıldırım ve Kocabaş'ın^[7] potansiyel çözümleri bütün bir kritik küresel kuyu yüzeyi (KKKY) ($A_c = 4\pi S_c^2$) için üniform kanal akımındaki bir su alma ağzı için KKKY'deki hızın $V_s = U_\infty/2$ olduğunu göstermiştir.

Bilgisayar teknolojisinin son yıllardaki hızlı gelişimi, sayısal hesaplamalarda ve modelleme teknikleri üzerinde de etkisini göstermiştir. İnsan beyninin çalışma sisteminden hareketle geliştirilen YSA uygulamaları ile birçok olayın giriş ve çıkış mekanizmaları öğrenilerek benzer olaylar için oldukça iyi modeller elde edilmiştir.

Lin ve Chen^[9], yağış-akış modellemesinde; Cıgızoğlu ve Kişi^[10], akış tahmininde; Kişi^[11], askı malzemesi tahmininde, YSA yöntemini başarıyla kullanmıştır. Bhattacharya ve Solomatine^[12] seviye-debi modellemesinde YSA ve geleneksel istatistik modellerinin performansını karşılaştırmıştır. Sudheer ve Jain^[13], nehir seviyelerinin modellenmesinde YSA yöntemlerini kullanmıştır. YSA'nın hidroloji ve su kaynakları problemlerinde uygulamaları giderek daha da yaygın hale gelmektedir^[14-16].

2. SİRKÜLAYON UYGULANAN AKIM İÇİN SU ALMA AĞZINA AİT BATIKLIK

Deneysel olarak araştırılan durgun su gövdesinde akıma sirkülasyon uygulaması durumunda su alma ağzına hava girişi boyut analizi yapılarak incelenmesinde fayda vardır. Akışkanın yoğunluğu (ρ), dinamik viskozitesi (μ), yüzeysel gerilmesi (σ), yerçekimi ivmesi (g), su alma borusundaki akım hızı (V_i), akıma uygulanan sirkülasyon (Γ), su alma borusu iç çapı (D_i), kritik batıklık (S_c), su alma borusu üst noktasının kanal tabanına olan düşey mesafesi (c) dikkate alındığında, su alma borusuna hava girişi olmaması için gerekli batıklık;

$$S_c = f(\rho, \mu, \sigma, g, V_i, \Gamma, D_i, c) \quad (1)$$

$$\frac{S_c}{D_i} = f(R_e, W, F, K, c/D_i) \quad (2)$$

elde edilir. (2) no'lu denklemdeki boyutsuz büyüklükler;

$$\begin{aligned} R_e &= V_i \cdot D_i / \nu && : \text{Su alma ağzı Reynolds sayısı} \\ \nu &= \mu / \rho && : \text{Sıvının kinematik viskozitesi} \\ W &= \rho D_i V_i^2 / \sigma && : \text{Weber Sayısı} \end{aligned}$$

$$Fr = V_i / \sqrt{g D_i} \quad : \text{Froude Sayısı}$$

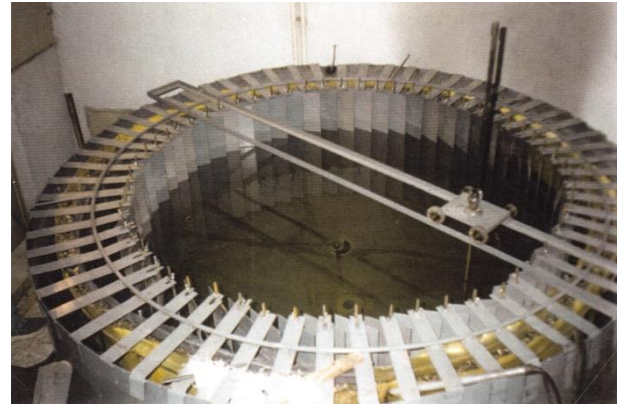
$$K = \Gamma / (V_i D_i) \quad : \text{Kolf Sayısı}$$

Daggett ve Keulegan [17], $R_e > 3,4 \cdot 10^4$ iken viskoz etkilerin ihmal edilebileceğini göstermiştir. Jain vd.^[5], $W = \rho D_i V_i^2 / \sigma > 120$ iken yüzeysel gerilmenin havalı çevriliye etki etmediğini deneylerle ispatlamıştır. Keza, Gulliver ve Rindels'in^[4] deneyleri Froude Sayısı'nın kritik batıklık üzerindeki etkisinin uygulamada ihmal edilebileceğini göstermiştir. Bu çalışmadaki tüm deneylerde W ve R_e bahsedilen değerlerden büyük olup, W ve R_e 'nin kritik batıklığa etkileri ihmal edildi. Dolayısıyla ifade (2) aşağıdaki duruma indirgenmiş olur.

$$\frac{S_c}{D_i} = f\left(\frac{c}{D_i}, K\right) = F\left(\frac{c}{D_i}, \frac{\Gamma}{V_i D_i}\right) \quad (3)$$

2.1. Deney ve Gözlemler

Bu çalışmada akıma sirkülasyon uygulanarak su alma ağzına ait kritik batıklığa olan etkisine ait deneyler yapıldı. Deneylerde, durgun su gövdesinde ayarlanabilir kanatlarla sirkülasyon oluşturulmuş ve su alma ağzı olarak da düşey yukarı bir su alma ağzı kullanılmıştır (Şekil 1). Bu çalışma, $c/D_i=0, 1, 5$ olan su alma boruları ve yönlendirme açısı olarak $\beta=0^\circ, 10^\circ$ ve 45° için yapılmıştır (β akıma dönme veren kanatların radyal doğrultu ile yaptığı açı). Deneyler sonunda akıma uygulanan sirkülasyonun kritik batıklık değerini artırdığı görülmüştür.



Şekil 1. Akıma sirkülasyon (dönme) veren deney düzeneği

Deneyler, 10 BG' de santrifüj pompa ile istenen debinin ve devir-daim' in sağlandığı iç çapı 2.5 m ve yüksekliği 1.20 m olan silindirik şeklindeki tankta yapılmıştır. Tank tabanında, 1.90 m çapında ve 0.20 m yüksekliğinde silindirik beton döşeme bulunmaktadır, iç çapı $D_i=5.32$ cm olan demir boru bu beton döşemenin içerisinden geçip pompaya bağlanmaktadır. Debi ölçümünde üçgen savak kullanıldı. Savaktan gelen akımın enerjisi 15 cm kalınlıkta çakıl filtre ile kırıldı. Döşeme üzerine fleksi-glass plaka vidalanmış ve tank içerisindeki akımı su alma ağzına doğru yönlendiren 15 cm genişlikte, 95 cm yükseklikte ve 3 mm kalınlıkta sacdan imal edilen 60 adet kanat için 6° aralıklı 60 adet

radyal 1 cm çapında delik açıldı. Kanatların düşeyde dengesini sağlamak için tankın üst kısmına 60 adet L şeklinde tutucu kol kaynaklandı (Şekil 1). Yönlendirici kanatlar, istenilen β açısı verildikten sonra sabitlenebilmektedir.

2.2. Deneyin Yapılışı

İstenilen açıyı sağlayacak şekilde yönlendirici kanatlar ayarlandıktan sonra, hangi c/D_i için deney yapılacak ise uygun su alma ağzı tankın merkezine yerleştirildi. Tank, kritik derinliğin çok üzerinde bir derinliğe ulaşıncaya kadar su ile dolduruldu ve pompa çalıştırılarak pompa hattı üzerindeki vana istenilen debiyi sağlayacak şekilde yavaş bir şekilde açıldı.

Akımın dengeye ulaşmasından sonra, drenaj çok az açılarak tank içerisindeki su seviyesinin düşmesi sağlandı ve drenaj kapatılarak su yüzeyinde serbest çevrinti oluşumu gözlemlendi. Gözlemler süresince hava girişli çevrinti oluşumu yok ise drenaj işlemi tekrarlandı. Hava girişli çevrintinin su alma borusuna girişi gözlemlendiğinde kritik derinlik (S_c) ve bu durumda iken su alma ağzı tarafından emilen debi (Q_i) ölçümleri alındı.

Deneyler, akıma sirkülasyonu saat yönüyle aynı yönde verecek $\beta=0^\circ, 10^\circ, 45^\circ$ açıları için her açıya karşılık gelecek şekilde su alma boruları değiştirilerek $c/D_i=0, 1, 5$ değerleri için yukarıda açıklandığı gibi ayrı ayrı yapıldı.

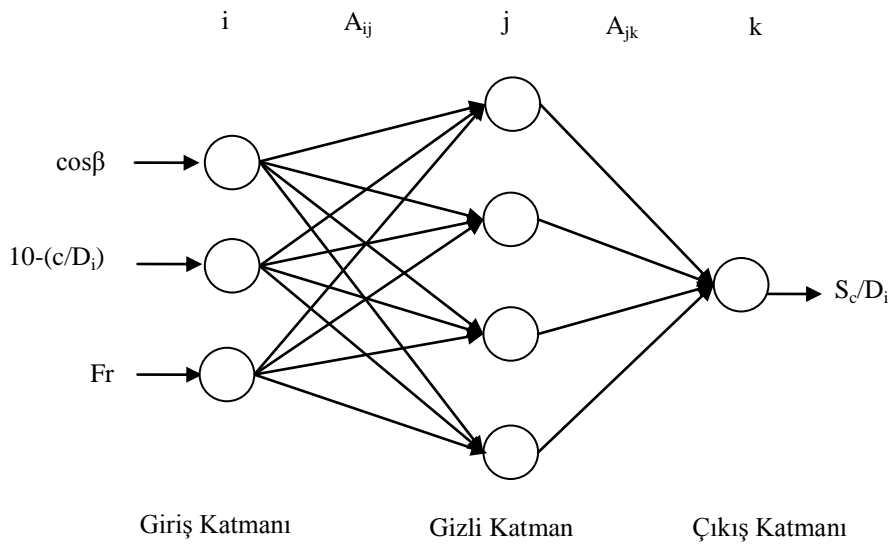
3. METOTLAR

3.1. Yapay Sinir Ağları

Bu metot ilk olarak 1943 yılında hücre modelini öneren McCullough ve Pitts tarafından literatürde yer almıştır. Beynin zor işlemleri yapabilme ve kompleks örnekleri kavrayabilme yeteneği ve özellikle ilgili fiziksel ilişkileri bilmeden yalnızca denemeyle bazı şeyleri öğrenebilmesi, bilim adamlarına Yapay Sinir Ağları metodunun geliştirilmesi için ilham vermiştir. Yapay sinir ağları girdilere karşılık çıktılar üreten bir kara kutu olarak ele alınabilir^[18].

Yapay sinir ağlarının temel mantığı, biyolojik sinir hücresi yapısından yola çıkarak problemin girdi ve çıktıları arasındaki ağırlık katsayılarının bulunması ve her girdi-çıkıtı için bu işlemin öğrenen bir sistem ile yapılması üzerine dayanmaktadır^[19].

Yapay sinir ağları, farklı ağırlıklarla birbirine bağlı birçok işlem elemanlarından oluşmuş yoğun paralel sistemlerdir. YSA metotları içerisinde en çok kullanılanı hataların geriye yayılma (back-propagation) ilkesine göre çalışır. Şekil 2, bu çalışmada kullanılan üç tabakalı bir yapay sinir ağını göstermektedir. Giriş verisi olarak $\beta=0^\circ$ ve $c/D_i=0$ için regresyon denklemleri ve YSA modelinde tanımsız durumlar oluşmuştur. Tanımlı olabilmesi için yönlendirme açısı en çok 90° olabileceğinden bu açıların Cosinüsleri alınmış; c/D_i için de sıfır oluşturmayan ve $c/D_i=5$ değerini koruyan $(10 - c/D_i)$ değeri seçilerek modellerde giriş verisi olarak kullanılmıştır.



Şekil 2. S_c/D_i tahmininde kullanılan YSA yapısı

Yapay sinir ağları, temel olarak üç tabakadan meydana gelmektedir (Şekil 2). İlk tabaka (i tabakası), girdi değişkenleriyle bağlantılı olan işlem elemanlarından (hücre veya nöron) oluşur ve girdi tabakası adı verilir. Girdi tabakasının tek görevi ağda girdi tabakasından sonra gelen gizli tabakaya girdi değişkenlerini aktarmaktır. Son tabaka(k tabakası), çıktı değişkenlerinden oluşur ve çıktı tabakası adı verilir. Girdi tabaka ve çıktı tabakaları arasındaki işlem elemanlarından oluşan tabakaya da gizli tabaka (j tabakası) adı verilir^[20].

3.2. Çoklu Doğrusal Regresyon

Çoklu doğrusal regresyonda amaç, bağımlı değişkeni etkilediği belirlenen bağımsız değişkenler yardımıyla bağımlı değişkenin değerinin kestirilmesi ve bağımlı değişkeni etkilediği düşünülen bağımsız değişkenlerden hangisi ya da hangilerinin bağımlı değişkeni daha çok etkilediğini bulmaktır.

Çoklu regresyon çözümlemesinde, bağımlı değişken y, bağımsız değişkenler x_1, x_2, \dots, x_p ile gösterildiğinde aralarındaki ilişki denklem 4 ile ifade edilir.

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_jx_j + \dots + b_px_p + \varepsilon \quad (4)$$

Burada; $b_0, b_1, b_2, \dots, b_j, \dots, b_p$ bilinmeyenlerine regresyon katsayıları denir. Herhangi bir b_j regresyon katsayısı, diğer değişkenler sabit tutulduğunda (diğer değişkenlerin etkisi ortadan kaldırıldığında) x_j değişkeninde ortaya çıkan bir birimlik değişmeye karşılık y değişkenindeki beklenen değişiklik miktarını vermektedir. Diğer bir ifadeyle; $b_1, b_2, \dots, b_j, \dots, b_p$; bağımsız değişkenlerin y'nin saptanmasına yaptıkları göreceli katkıya ilişkin ağırlıklardır. Bu nedenle, b_j ($j=1, 2, \dots, p$) parametreleri genellikle kısmi regresyon katsayıları olarak adlandırılmaktadır. b_0 'a ise kesim noktası veya sabit denir ve tüm x_j değişken değerleri sıfır olduğunda bağımlı değişkenin aldığı değeri gösterir. ε ise hata terimidir^[21].

Çoklu doğrusal regresyonda yapılan varsayımlardan bazıları şunlardır,

x_j değişkenlerine ilişkin değerler sabittir ki bu kabul çoklu regresyon modelini çoklu korelasyon modelinden ayırmaktadır. Her bir x_j değerleri kümesi için y değerinin bir alt kümesi mevcut olup güven aralıklarının bulunmasında y alt kümelerinin normal dağılım gösterdiğinin bilinmesi veya kabul edilmesi gerekmektedir. y değerleri ise bağımsızdır. Yani, x değerlerinin seçilen bir kümesi için elde edilen y değerleri, x değerlerinin seçilen diğer bir kümesi için elde edilen y değerlerinden bağımsızdır. Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi araştırmak için deneysel çalışma yapılacaksa, deneysel çalışmaya başlamadan önce deneyin planlanması gerekmektedir. Planlama yapmadan, yanlış ve yetersiz deney yapmak, deneylerin istatistik kurallara göre değerlendirilmelerini olanaksız kılabilir^[22, 23].

3.3. Çoklu Doğrusal Olmayan Regresyon

Temel fikri lineer regresyon ile aynı olan lineer olmayan regresyonda da amaç bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında bir lineer olmayan ilişki kurmaktır. Lineer olmayan regresyonda farklı model denklemler kullanılabilir, en çok kullanılanları ise lojistik, üstel ve polinom denklemleridir. Bu model denklemlerde, üzerinde ilişki kurulan değişken ve bağımlı parametreler kullanılarak bulunması gereken, birkaç bilinmeyen parametre mevcuttur. Bu çalışmada Q bağımlı değişkeni ile denklem (5)'de verilen bağımsız değişkenler arasında üstel bağıntı düşünülerek lineer olmayan regresyon analizi gerçekleştirilmiştir.

$$y = ax_1^{\theta_1} x_2^{\theta_2} x_3^{\theta_3} \dots x_n^{\theta_n} \quad (5)$$

Burada θ_i i'nci model parametresi, a çarpımsal hata terimi, ve n değişken sayısını belirtmektedir. Bu model parametreleri En Küçük Kareler tekniği ile optimize edilmiştir^[24].

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

YSA metodlarından MLP yönteminin uygulanmasında MATLAB programlama dilinde yazılmış kodlar kullanılmıştır. MLP modeli uygulanmadan önce giriş ve çıkış verileri denklem (6) yardımıyla [0.2, 0.8] aralığında normalize edilmiştir.

Bu aralığın YSA için ekstrapolasyon yeteneğini artırdığı birçok araştırmacı tarafından bildirilmiştir^[25-28].

$$x_n = 0.6(x_i - x_{min}) / (x_{mak} - x_{min}) + 0.2 \quad (6)$$

Burada x_n ; normalize edilmiş giriş veya çıkış verisi, x_{mak} ; maksimum giriş veya çıkış verisi, x_i ; giriş veya çıkış verisi, x_{min} ; minimum giriş veya çıkış verisini göstermektedir.

Çalışmada deneysel olarak elde edilen 45 adet veri kullanılmıştır. Bu verilerin 30 adeti ağı eğitmede, 15 adeti ise modeli test etmede kullanılmıştır. Modellerin tahmin sonuçları Karekök Ortalama Karesel Hata (KOKH) ve Determinasyon Katsayısı (R^2) kriterlerine göre karşılaştırılmıştır. KOKH ve R^2 ifadeleri sırasıyla denklem (7), denklem (8), yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$KOKH = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (S_c D_{i,ölçülen} - S_c D_{i,model})^2} \quad (7)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (S_c D_{i,ölçülen} - S_c D_{i,model})^2}{\sum_{i=1}^N (S_c D_{i,ölçülen} - S_c D_{i,ortalama})^2} \quad (8)$$

Tanımlanan problem için en uygun modelin bulunabilmesi, olabildiğince çok sayıda modelin kurularak denenmesi ile mümkün olmaktadır. Bu nedenle model kurma aşamasında hata değerleri kontrol edilerek en iyi modele varıldığı düşünülen kadar işlemler yenilenmektedir.

Uygun YSA modelinin belirlenmesi gizli tabaka sayısı ve bu tabakalardaki nöron sayısı gibi yapısal parametrelerin ve aktivasyon fonksiyonunun

belirlenmesine dayanır. Çalışmada gizli katmandaki birimlere ve çıkışa ait aktivasyon fonksiyonu logsig olarak seçilmiştir. Yapılan çok sayıda deneme neticesinde minimum RMSE değerine göre en uygun

modele ait iterasyon sayısı 100 ve ara tabaka hücre sayısı (ATHS) 8 olarak belirlenmiştir (Tablo 1). Eğitim aşaması bittikten sonra, daha önce kullanılmamış olan test verileri ile modelin performansı test edilmiştir

Tablo 1 a. R² istatistik değerleri

ATHS	İterasyon Sayısı						
	50	100	150	200	250	500	1000
1	0,952	0,952	0,952	0,952	0,952	0,952	0,952
2	0,952	0,952	0,952	0,952	0,952	0,952	0,952
3	0,984	0,976	0,976	0,976	0,976	0,976	0,976
4	0,989	0,991	0,991	0,991	0,991	0,987	0,986
5	0,988	0,989	0,981	0,988	0,988	0,987	0,984
6	0,985	0,987	0,989	0,989	0,989	0,990	0,991
7	0,987	0,988	0,988	0,989	0,989	0,980	0,957
8	0,988	0,992	0,991	0,989	0,989	0,972	0,813
9	0,958	0,960	0,960	0,960	0,960	0,960	0,960
10	0,949	0,797	0,791	0,791	0,791	0,791	0,791

Tablo 1 b. KOKH istatistik değerleri

ATHS	İterasyon Sayısı						
	50	100	150	200	250	500	1000
1	0,748	0,748	0,748	0,748	0,748	0,749	0,749
2	0,748	0,748	0,748	0,748	0,748	0,749	0,749
3	0,528	0,586	0,587	0,587	0,587	0,588	0,588
4	0,359	0,346	0,339	0,340	0,340	0,423	0,432
5	0,386	0,378	0,501	0,402	0,402	0,430	0,520
6	0,454	0,394	0,354	0,342	0,342	0,342	0,332
7	0,416	0,378	0,369	0,364	0,364	0,489	0,757
8	0,373	0,307	0,328	0,363	0,363	0,780	1,550
9	0,686	0,670	0,670	0,670	0,670	0,670	0,670
10	0,822	2,145	2,199	2,199	2,199	2,199	2,199

YSA eğitim aşamasında kullanılan verilerle lineer ve non-lineer regresyon ilişkisinden faydalanarak lineer model için denklem 9 ve non-lineer model için denklem 10 elde edilmiştir.

$$S_{c/D_i} = 17.601 - 20.547(\cos\beta) + 0.498(10 - c/D_i) + 1.072Fr \quad (9)$$

$$S_{c/D_i} = 0.5964(\cos\beta)^{-2.687}(10 - c/D_i)^{0.650}Fr^{0.545} \quad (10)$$

Bu denklemlerde test verileri kullanılarak elde edilen R² ve KOKH değerleri Tablo 2'de gösterilmiştir. Modellerden elde edilen tahmin değerleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 2. Lineer, Non-Lineer ve MLP modelleri için R² ve KOKH istatistikleri

Model	R ²	KOKH
Lineer	0.939	0.840
Non-Lineer	0.946	0.781
MLP	0.992	0.307

Tablo 2' den görüldüğü üzere S_c/D_i tahmininde üç model için de R^2 değerleri yüksek ve KOKH değerleri düşük olmakla birlikte, daha yüksek R^2 ve daha düşük

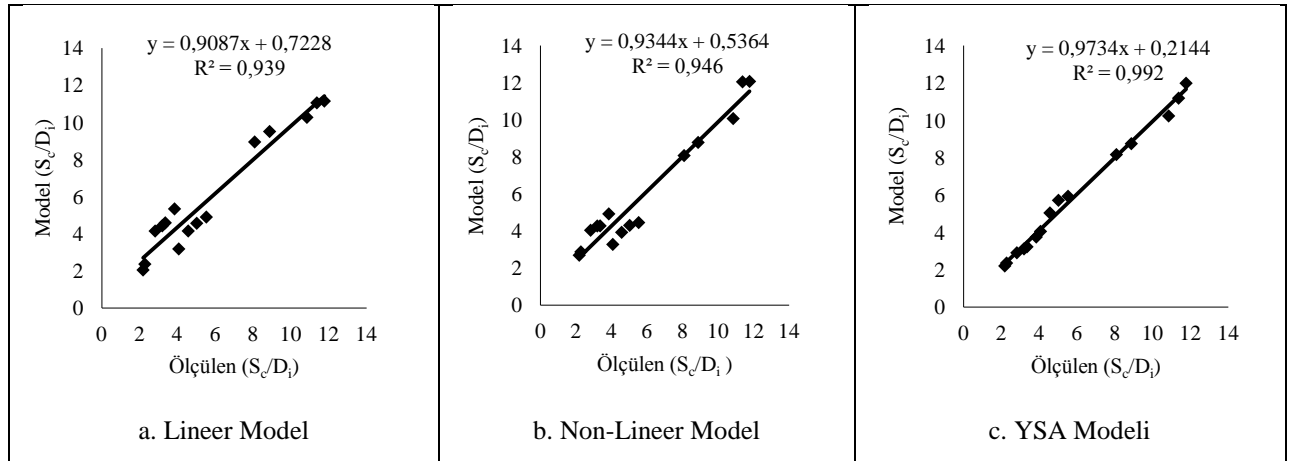
KOKH değerlerine sahip olan MLP modeli Lineer ve Non-Lineer regresyon modellerinden daha iyi sonuçlar vermektedir.

Tablo 3. Test verilerine ait ölçülen ve modellerle bulunan tahmini S_c/D_i değerleri

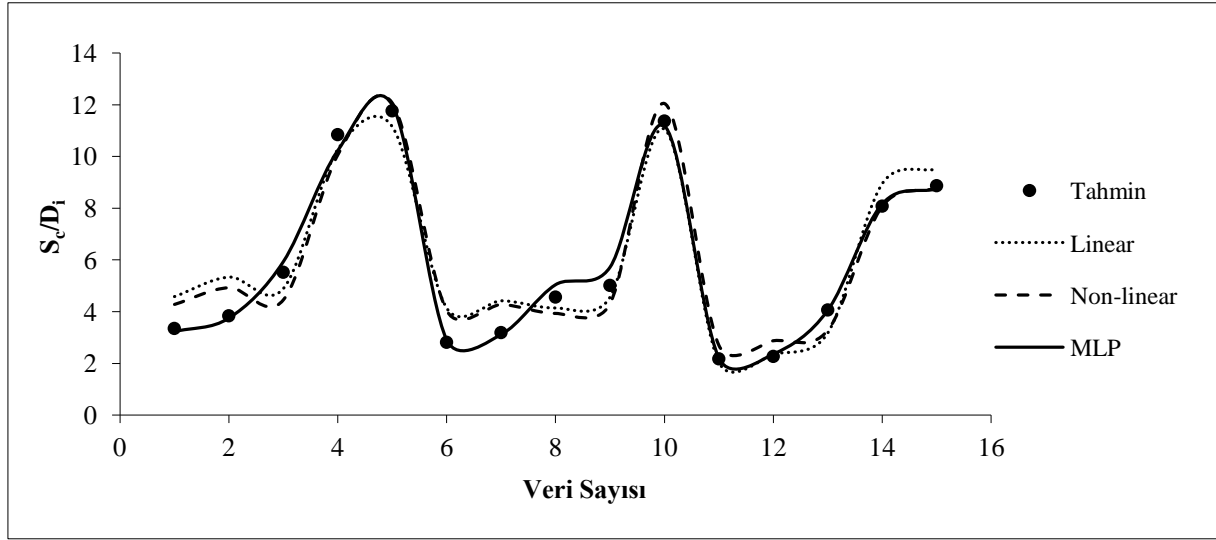
Deney No	Açı	C/D	Fr	S_c/D_i			
				Ölçülen	Lineer	Non-Lineer	MLP
1	0	0	2,38	3,36	4,59	4,28	3,23
2	0	0	3,08	3,84	5,34	4,93	3,76
3	10	0	2,38	5,53	4,90	4,46	5,94
4	45	0	2,07	10,85	10,27	10,06	10,23
5	45	0	2,89	11,77	11,15	12,07	11,99
6	0	1	2,43	2,82	4,14	4,04	2,91
7	0	1	2,70	3,20	4,42	4,27	3,12
8	10	1	2,15	4,57	4,15	3,93	5,05
9	10	1	2,53	5,02	4,56	4,30	5,72
10	45	1	3,27	11,37	11,05	12,04	11,18
11	0	5	2,33	2,18	2,04	2,70	2,21
12	0	5	2,63	2,27	2,36	2,88	2,36
13	10	5	3,10	4,07	3,18	3,28	4,06
14	45	5	3,16	8,08	8,95	8,07	8,17
15	45	5	3,68	8,87	9,51	8,78	8,75

Tablo 3'de yer alan ölçülen ve tahmin değerlerinin kullanılmasıyla elde edilen saçılma diyagramı ve gidiş

diyagramları sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4 de gösterilmiştir.



Şekil 3. Ölçülen ve modellere ait saçılma diyagramı



Şekil 4. Ölçülen ve modellere ait tahmin edilen S_c/D_i değerleri

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada akıma sirkülasyon uygulanması durumunda kritik batıklığa ait deneyler yapılmıştır. Deney sonuçlarından akıma uygulanan sirkülasyon arttıkça S_c 'nin hızla arttığı ve su alma ağzının tabandan yüksekliği arttıkça S_c 'nin azaldığı görüldü. Su alma ağzının tabandan olan mesafesi (c) arttıkça oluşan havalı çevrintinin görüntüsünün daha zayıfladığı görüldü. Farklı kanat açıları için yapılan deneyler sonucunda kanat açısı β büyüdükçe oluşan çukurluğun ve havalı çevrintinin daha güçlendiği ve yüksek açıda havalı çevrintinin konumunu uzun süre koruduğu gözlemlendi. Tabandan mesafe (c) arttıkça aynı kanat açısında ihtiyaç duyulan batıklık değerinin azaldığı gözlemlendi.

KOKH değerleri karşılaştırıldığında lineer ve non-linear regresyon modellerinden sırasıyla 0.840 ve 0.781 değerleri elde edilmiş, en iyi sonuç ise 0.307 ile MLP modelinden elde edilmiştir.

R^2 değerleri karşılaştırıldığında lineer ve non-linear regresyon modellerinden sırasıyla 0.939 ve 0.946 değerleri elde edilmiş, en iyi sonuç ise 0.992 ile MLP modelinden elde edilmiştir.

Oluşturulan model sonuçlarından S_c/D_i tahminlerinin, ölçülen değerlere çok yakın olduğu gördüğü diyagramlarından görülmüştür. Tüm istatistik parametreler (KOKH ve R^2) karşılaştırıldığında İstatistik parametreler dikkate alındığında non-linear regresyon modeli lineer regresyon modelinden iyi sonuçlar vermektedir. MLP modelinin ise her iki regresyon modelinden de iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

KAYNAKLAR

1. Kocabaş, F. Geçirimsiz Sınırların ve Sirkülasyonun Su Alma Ağzına Ait Kritik Batıklık Üzerine Etkisi, Doktora Tezi, 1999.

- Denny, D. F., An experimental study of air-entraining vortices in pump sumps., Proc. of Inst. of Mech. Engineers, 170(2), 106-116, 1956.
- Markland, E., Pope, J.A., Experiments on a Small Pump Suction well with Particular Reference to Vortex Formations, The Institution of Mechanical Engineers, Vol.170, 1956.
- Gulliver, S.J., and Rindels, A.J., Weak vortices at vertical intakes., J. Hydr. Div., A.S.C.E., 113(9), 1101-1116, 1987.
- Jain, A. K., Ranga Raju; K.G., and Garde, R. J., Vortex formation at vertical pipe intakes., J. Hydr. Div., A.S.C.E., 104(10), 1429-1448, 1978.
- Jain, A.K., Kittur, G.R.R., Ramachandra, J.G., Air Entrainment in Radial Flow Towards Intakes, J. Hydr. Div., A.S.C.E., 1323-1329, 1978.
- Yıldırım, N., and Kocabaş, F., Critical submergence for intakes in open channel flow, J. Hydr. Engrg., A.S.C.E., 121(12), 900-905, 1995.
- Yıldırım, N., and Kocabaş, F., Critical submergence for intakes in still-water reservoir, J. Hydr. Engrg., A.S.C.E., 124(1), 103-104, 1998.
- Lin, G.F., Chen, L.H., A Non-Linear Rainfall-Runoff Model Using Radial Basis Function Network, Journal of Hydrology, 289 (1-4), 1-8, 2004.
- Cığızoğlu, H.K., Kişi, Ö., Flow Prediction By Three Back Propagation Techniques Using K-Fold Partitioning of Neural Network Training Data, Nordic Hydrology, 36 (1), 1-16, 2005.
- Kişi, Ö., Multi-Layer Perceptrons with Levenberg-Marquardt Optimization Algorithm for Suspended Sediment Concentration Prediction and Estimation, Hydrological Sciences Journal, 49 (6), 1025-1040, 2004.
- Bhattacharya, B., Solomatine, D.P., Application of Artificial Neural Network in Stage-Discharge Relationships, 4th Int. Conference on

- Hydroinformatics, Iowa City, USA, 1-7, July 23-27, 2000.
13. Sudheer, K.P., Jain, S.K., Radial Basis Function Neural Networks for Modeling Rating Curves. ASCE, Journal of Hydraulic Engineering, 8 (3), 161-164, 2003.
 14. Kisi, O., River flow modeling using artificial neural networks. ASCE Journal of Hydrologic Engineering, 9(1):60-63, 2004.
 15. Kocabas, F., Unal, S., and Unal, B., A neural network approach for prediction of critical submergence of an intake in still water and open channel flow for permeable and impermeable bottom. Computers and Fluids, 37(8), 1040-1046, 2008.
 16. Kocabas, F., Yildirim, N., Donmez, S. "An Artificial Neural Networks Model for the Circulation Imposed on Critical Submergence of an Intake Pipe", The Kuwait Journal of Science and Engineering, 37 (1B), 21-34, 2010.
 17. Daggett, L.L., Keulegan, G.H., Similitude in Free-Surface Vortex Formations, J. Hydr. Div., A.S.C.E., 1565-1581, 1974.
 18. Partalı, T., Cıgızoğlu, K., Yapay Sinir Ağları ile Meteorolojik Verileri Kullanarak Yağış Tahmini, Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu, s. 798, Kocaeli, 2005.
 19. Tokar, A.S., Johnson, P.A., Rainfall-Runoff Modelling Using ANN, Journal of Hydrologic Engineering, 4(3): 232-239, 1999.
 20. Demirpençe, H., Akarsularda Debi - Su Seviyesi İlişkisinin Yapay Sinir Ağları ile Belirlenmesi, Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu, s. 815, Kocaeli, 2005.
 21. Alpar, R., Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemlere Giriş 1, Nobel Yayın, 2003.
 22. Ercan, M., Bilimsel Araştırmalarda İstatistik, Orman Bakanlığı Kavak ve Hızlı Gelişen Tür Orman Ağaçları Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, 2. Baskı, 1997.
 23. Taşdemir, Y., Açar, E., Karayolu mühendisliğinde deneysel çalışmaların istatistiksel olarak yorumlanması, Altıncı Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi, İstanbul, 2004.
 24. Seçkin, N., Güven, A ve Yurtal, R., Taşkın Debilerinin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi: Batı Karadeniz Havzası Örneği, Ç.Ü.Müh.Mim.Fak.Dergisi, Cilt 25 (1-2), 45-57, 2010.
 25. Cigizoglu H.K., Estimation Forecasting and Extrapolation of River Flows by Artificial Neural Networks, Hydrological Sciences Journal, 48 (3): 349-361, 2003.
 26. Kisi O., Daily Pan Evaporation Modelling Using Multi-layer Perceptrons and Radial Basis Neural Networks, Hydrological Processes 23: 213-223, 2008.
 27. Kisi O., Cobaner M., Modelling River Stage-Discharge Relationships Using Different Neural Network Computing Techniques, CLEAN-Soil Air Water, 37(2): 160-169, 2009.
 28. Akoz M.S., Cobaner M., Kirkgoz M.S., Oner A.A., Prediction of Geometrical Properties of Perfect Breaking Waves on Composite Breakwaters, Applied Ocean Research, 33 (3): 178-185, 2011.

Using of Empiric and Semi-Empiric Models in the Modeling of An Experimental Study on Freeze Drying Behavior of Apples

Volkan KIRMACI^{1*}, Tayfun MENLİK², Hüseyin USTA²

¹Bartın University, Faculty of Engineering, Mechanical Engineering Department, 74100 Bartın, Turkey

²Gazi University, Faculty of Technical Education, Mechanical Education Department, Teknikokullar, 06503 Ankara, Turkey

Yayın Bilgisi

Yayın Geçmişi

Geliş T.: 18.03.2013
Revizyon T.: 01.04.2013
Kabul T.: 15.04.2013

Keywords

Apple
Freeze Drying
Drying Kinetics
Modelling

Anahtar Kelimeler

Elma
Dondurarak Kurutma
Kurutma Kinetiği
Modelleme

Abstract

Under this present work, the freeze drying kinetics of apples have been modeled using empiric and semi-empiric models. During the drying experiments, 5 mm, 7 mm and 10 mm thick sliced apple samples have been used. Ten different models including empiric and semi-empiric models have been used for modeling the drying behavior of apples. To evaluate the performance of these models, the determination of coefficient (R^2), reduced chi-square (X^2) and root mean square error (RMSE) have been used. The obtained results for sample thickness of 5, 7, and 10 mm are 0.9973 (R^2), 4.168x10⁻⁴ (X^2), 0.0194 (RMSE) and 0.9968 (R^2), 5.526x10⁻⁴ (X^2), 0.0227 (RMSE) and 0.9988 (R^2), 2.398x10⁻⁴ (X^2), 0.0150 (RMSE) using ten empiric and semi-empiric models, respectively. can be seen from the obtained results, the best model is the page model could sufficiently describe the drying behavior of 5mm, 7 mm and 10 mm apple samples. In addition, further regressions were made to take the effect of sample thickness into account on the coefficients of the page model.

Elmaların Dondurarak Kurutma Davranışları Deneysel Sonuçlarının Ampirik ve Yarı Ampirik Modeller Kullanılarak Modellenmesi

Özet

Bu çalışmanın temelinde elmanın dondurarak kurutma kinetiği ampirik ve yarı ampirik model yaklaşımlarıyla modellenmiştir. Kurutma deneyleri esnasında 5 mm 7 mm ve 10 mm kalınlığında elma dilimleri kullanılmıştır. Elmaların kuruma davranışlarını modellemek amacıyla ampirik ve yarı ampirik olmak üzere 10 farklı model kullanılmıştır. Bu modellerin performanslarını belirlemek amacıyla R^2 katsayısının belirlenmesi, indirgenmiş ki kare (chi-square) X^2 , hataların ortalama kare kökü (HOKK) dikkate alınmıştır. 10 farklı modelin uygulanmasıyla birlikte 5, 7 ve 10 mm elma dilimleri için elde edilen sonuçlar sırasıyla 0.9973 (R^2), 4.168x10⁻⁴ (X^2), 0.0194 (RMSE), 0.9968 (R^2), 5.526x10⁻⁴ (X^2), 0.0227 (RMSE) ve 0.9988 (R^2), 2.398x10⁻⁴ (X^2), 0.0150 (RMSE) olarak elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar açıkça "page model" in 5, 7, 10 mm elma örneklerinin kurutma davranışlarını tanımlamada en iyi model olduğunu göstermektedir. Buna ek olarak, çalışmada "page model" katsayısı dikkate alındığında elmaların dilim kalınlığının ileriye dönük çalışmalarda dikkate alınması gerektiği ortaya çıkmıştır.

1. INTRODUCTION

Fruits and vegetables are regarded as highly perishable food due to their moisture content^[1]. Drying is one of the widely used methods for preservation of fruits and vegetables. Longer shelf life, product diversity and substantial volume reduction are the main reasons for popularity of dried fruits and vegetables^[2]. Drying of heat-sensitive biomaterials such as fruits, vegetables, and the so-called wellness, or functional foods, requires special techniques to avoid product degradation due to thermal decomposition, oxidation, or enzymatic browning^[3]. Texture, color and aroma are the main quality values of food products influencing consumer acceptability. During processing these values may be lost or altered depending on the water content in the foods, particularly in dried foods. Many approaches having been tried in order to improve the quality of fruit products. Freeze-drying process which is a gentle drying process is a commonly used method for the reason that the biological value of the material, structure, flavor, aroma, and color are retained in the product^[4]. The freeze-drying process is a well-known and an established technology for sometime. There are many regarding researches and developments in this field.

Energy consumption, product quality, and thermal and physical parameters are some of the areas of experiments made during the drying process^[5]. Freeze-drying, also known as lyophilization is a separation process widely used in biotechnology, fine chemicals, food, and pharmaceutical industries^[6-8]. Heat sensitive materials, biological materials, fine chemicals, and some pharmaceuticals, which might lose their quality during conventional evaporative drying, could be freeze-dried^[9]. Currently, freeze-drying has become an important industrial process for drying of high-value products such as foodstuffs, pharmaceuticals, and so on^[3].

Apple is an important raw material for many food products. The apples are consumed either in fresh condition or in the form of various processed products such as juice, jam, marmalade and as a dried product^[10]. Drying is used in order to preserve the original characteristics of apples. Dried apples can be consumed directly or treated as a secondary raw material^[11]. Generally, convection air drying method is used for drying fruit materials. However, convection air drying process may cause serious damage to the flavour, colour, nutrients of the product and also can reduce the

bulk density and rehydration capacity of the dried product^[12]. Freeze-dried apples were found to be of excellent color and flavor conditions and with high rehydration capacity^[13]. Turkey has produced about 2.504 Mt, 2.782 Mt, and 2.6 Mt, in 2008, 2009 and 2010, respectively^[14]. Turkey exports most of its apple production. In this regard, the present demand for apples in the food industry in Turkey makes the freeze-drying technique an appealing alternative for handling this fruit.

There are many studies carried out to analyze the drying kinetics of the apples^[10, 11, 15, 16]. Some of the above studies are made for convective drying processes while the others used a combination of microwave drying process and convective drying process. In addition to the above, several different searches, such as combination of mild dehydration and freeze-drying process, atmospheric freeze-drying process, have been carried out^[17].

This paper deals with experiments on freeze-drying of apples. The aim of this study was to determine the drying kinetics of freeze-dried apples and also the effect of different sample thicknesses on the drying kinetics of freeze-dried apples.

2. MATERIAL AND METHOD

A freeze-drying experimental rig (FDER) was constructed in the Department of Mechanical Education, Faculty of Technical Education, Gazi University, Ankara, Turkey. FDER is shown in Fig. 1. FDER consists of mainly the drying chamber, a condensing unit, a vacuum pump, a weighing system and the measurement equipments. The drying chamber is a cylindrical enclosure, with 370 mm inside diameter by 450 mm length, with a Plexiglas door (transparent) 40 mm thick permitting visual observation of the apples during freeze-drying process. Condensing unit protecting the vacuum pump against humidity is of a vapor compression refrigeration system. It consists of two condensers (one of them is for condensing unit and the other is for air-cooled condensing unit), a 1 HP hermetic-type compressor (R-404A) and an expansion valve. The vacuum conditions in the drying chamber were achieved by a hybrid vacuum pump with 2×10^{-3} mbar pressure, 5.6 m³/h (at 50/60 Hz) pumping flow rate and 0.37 kW power. The weight loss of the samples was followed by a load-cell located in the center of the drying chamber. The capacity and the sensitivity of the load-cell were 1000 and 0.01 g, respectively. The pressure variations in the drying chamber were measured by pressure transmitters (accuracy: ± 0.075 %, range: 1×10^{-3} mbar \sim 2×10^{-3} mbar, feed: 10.5 - 42 V-DC and output: 4 - 20 mA). The outputs of the load-cell and the transmitter were connected to a signal converter E-700/ELİMKO, then to a data-logger E-680/ELİMKO and to a personal computer to record the chamber pressures and weight loss of the sample data using a EManager 5.1/ELİMKO. The heating which is necessary for sublimation was

provided by a 1 kW-electrical heater which is current controlled. The heater is placed at a 4 cm-distance from side of sample tray. A stainless steel (0.5 mm of thickness and bore diameter of 9 mm) sample tray with dimensions of 200 x 200 mm was placed onto the load-cell.

Fresh apples were obtained from a local supermarket. After elimination of unripe and rotten apples, apples have been peeled, their center's removed and then cut into 5 mm, 7mm and 10 mm thick slices, and sliced apples have been frozen at -30 °C in a deep-freezer (UGUR deep-freezer, UDD 300-BK, Nazilli, Aydın, Turkey). Then, 5 mm, 7 mm and 10 mm thick sliced frozen samples were placed on sample tray in drying chamber. After this, drying chamber was vacuumed rapidly from 920 mbar to 7 mbar in 30 s and the decrease in the pressure continued during the process. Drying of apple samples started with an initial moisture content of around 89.44 % (db) and continued decreasing until no further changes in their mass were observed, e.g. to the final moisture content of about 8.8 % (db) in the drying chamber. Samples weight loss was measured at intervals of 30 min. The experiments were replicated three times and the average of the moisture content values at each test was used. The drying data taken from the drying tests were then expressed as moisture ratio (MR) versus drying time. The statistical analyses for determining the relationships between the drying rate-the drying time, moisture content-the drying time and moisture ratio-drying time have been evaluated.

The determination of the drying kinetics is important for predicting the drying kinetics of apples. In this study, the drying curves obtained have been compared with the ten different moisture ratio models which are commonly used in the literature by several investigators (Table 1)^[18-27]. The moisture ratio (MR) is expressed by following equation:

$$MR = \frac{M - M_e}{M_o - M_e} \quad (1)$$

However, the moisture ratio (MR) has been simplified to M/M_o instead of Eq. 1^[28]. The drying rate (DR) was calculated using the following equation:

$$DR = \frac{M_{t+dt} - M_t}{dt} \quad (2)$$

where M_o , M , M_e , M_t and M_{t+dt} are initial, intermediate time (t), and final equilibrium moisture contents, moisture contents at a time t and moisture contents at $t+dt$ respectively^[29].

The coefficient of determination (R^2), reduced chi-square (X^2) and root means square error (RMSE) were used for determining the statistical validity of the models and selecting the best one of the models to describe thin-layer drying curves. The higher the values

Table 1. Empiric and semi-empiric equations for drying kinetics

Model no	Model name	Model	References
1	Newton	$MR = \exp(-kt)$	[18]
2	Page	$MR = \exp(-kt^n)$	[19]
3	Modified Page (I)	$MR = \exp[-(kt)^n]$	[20]
4	Modified Page (II)	$MR = \exp[(-kt)^n]$	[21]
5	Henderson and Pabis	$MR = a \cdot \exp(-kt)$	[22]
6	Logarithmic	$MR = a \cdot \exp(-kt) + c$	[23]
7	Two term	$MR = a \exp(-k_0 t) + b \exp(-k_1 t)$	[24]
8	Two-term exponential	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-k a t)$	[25]
9	Wang and Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	[26]
10	Diffusion approach	$MR = a \cdot \exp(-kt) + (1-a) \exp(-k b t)$	[27]

of the R^2 , lowest values of the X^2 and the RMSE are indications for the better goodness of the fit^[30, 31]. These parameters can be calculated as following:

$$R^2 = 1 - \left[\frac{\sum (MR_{exp} - MR_{pre})^2}{\sum (MR_{pre})^2} \right] \quad (3)$$

$$X^2 = \frac{\sum_i^N (MR_{exp} - MR_{pre})^2}{N - z} \quad (4)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2 \right]^{1/2} \quad (5)$$

where $MR_{exp,i}$ is the i^{th} experimental moisture ratio, $MR_{pre,i}$ is the i^{th} predicted moisture ratio, N is the number of observations and z is number of constants in model. In this study, regression analysis was performed with MATLAB R2007b and statistical software SigmaPlot 2000.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

The 5 mm, 7 mm and 10 mm apple samples with an initial average moisture content of 8.47, 8.45 and 8.45g water/g dry matter were dried to 0.085, 0.099 and 0.10g water/g dry matter. In Figs. 2-5, the variation of moisture content obtained from experiments with sample thickness, drying time, chamber temperature, relative humidity and sample temperature are shown. As it is seen from Fig 2, 5 mm, 7 mm and 10 mm apple samples were dried to 0.085, 0.099 and 0.10g water/g dry matter moisture contents in 660 min, 900 min, and

1110 min respectively. The time to reach the same moisture content, 7 mm and 10 mm samples required more time than 5 mm samples. This explains that there is a linear relationship between freeze drying time and product thickness. Drying rate is described as the amount of water removed. In Figs. 6-9, the variation of moisture ratio obtained from experiments with sample thickness, drying time, chamber temperature, relative humidity and sample temperature are shown. The variation in drying rate as a function of the sample thickness and drying time are shown in Fig. 10 for 5 mm, 7 mm and 10 mm apple samples. As it is seen in Fig. 10, drying rate is higher at the beginning and drying rate decreases continuously with drying time. As it can be observed, a constant rate-drying period was not determined from the curves in figures. In Fig. 11, moisture ratio obtained versus drying rate obtained is shown. Drying rate decreases continuously with diminishing moisture ratio. These results are in agreement with the observations of earlier researchers. In order to modeling, the experimental moisture content data were used on the dry weight basis (db). These data obtained for different sample thicknesses were converted to the moisture ratio values and fitted against the drying time. Ten moisture ratio models (Table 1) developed by researchers were fitted.

The results of the statistical analyses are given in Table 2. It is seen from the results that; generally high correlation coefficients (R^2) in the range 0.9324-0.9988, reduced chi-square (X^2) in the range 2.398×10^{-4} - 1.3769×10^{-2} and the root means square error (RMSE) in the range 0.0150-0.1124 were found for the models selected. Among all models, Page Model has the best values for R^2 , X^2 and RMSE for 5 mm, 7 mm and 10

mm apple samples. The values of R^2 , X^2 and RMSE of Page Model for 5 mm, 7 mm and 10 mm apple samples are 0.9988, 2.398×10^{-4} , 0.0150. Thus, the Page Model

can be assumed to represent the drying kinetics for the apple samples.

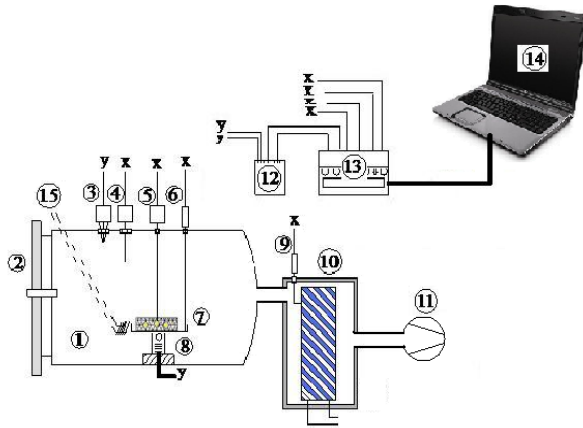


Figure 1. Experimental rig of the freeze-drying

- | | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 Drying chamber | 9 Thermocouple for condenser surface |
| 2 Plexiglas door | 10 Condensing unit |
| 3 Transmitter | 11 Vacuum pump |
| 4 Thermocouple for drying chamber | 12 Signal converter/E-700 |
| 5 Thermocouple, inserted into apples | 13 Data-logger/E-680 |
| 6 Thermocouple, inserted onto tray | 14 Notebook/EManager 5.1 |
| 7 Tray | 15 Electrical heater |
| 8 Load-cell | |

Figure 2. The variation of moisture content with sample thickness and drying time

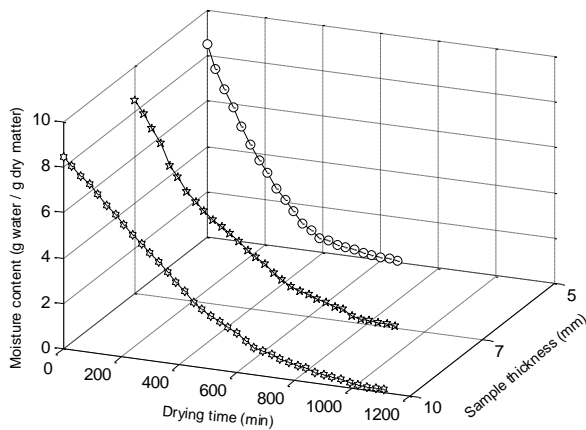


Figure 3. The variation of moisture content with sample thickness and chamber temperatures

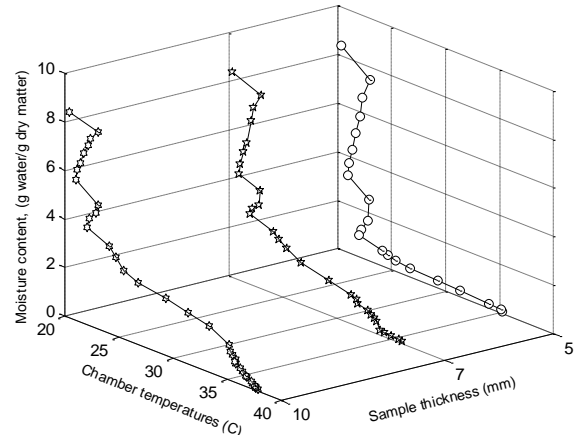


Figure 4. The variation of moisture content with sample thickness and relative humidity

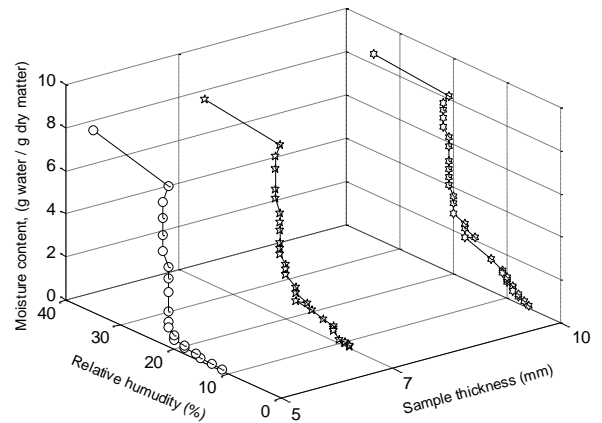


Figure 5. The variation of moisture content with sample thickness and sample temperature

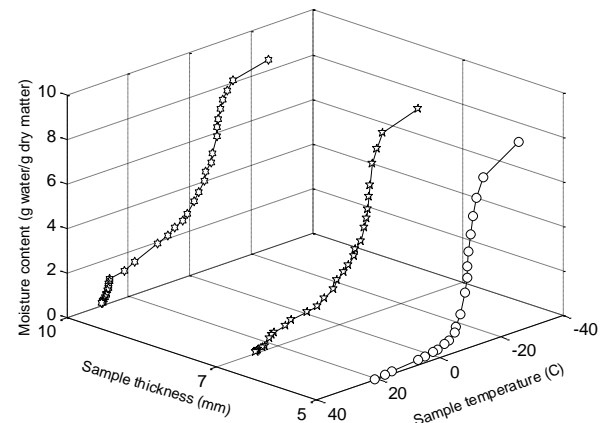


Figure 6. The variation of moisture ratio with sample thickness and drying time

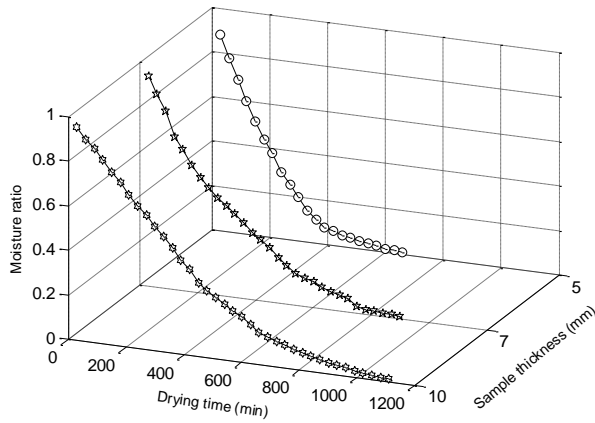


Figure 7. The variation of moisture ratio with sample thickness and chamber temperature

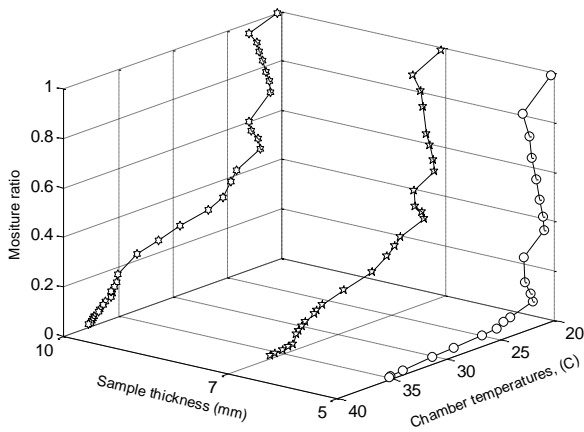


Figure 8. The variation of moisture ratio with sample thickness and relative humidity

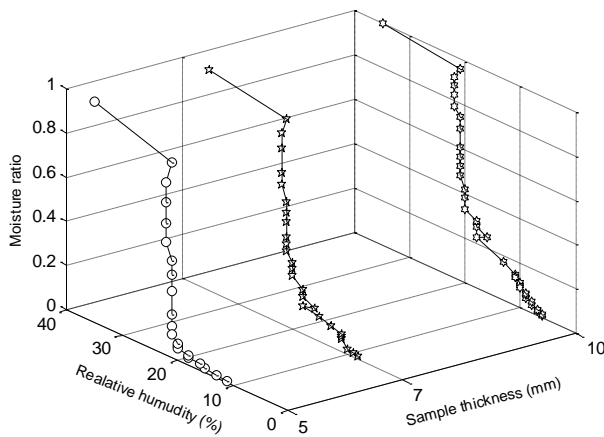


Figure 9. The variation of moisture ratio with sample thickness and sample temperature

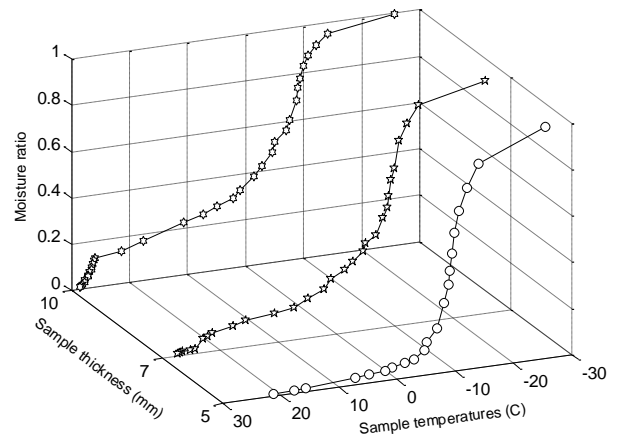


Figure 10. The variation of drying rate with sample thickness and drying time

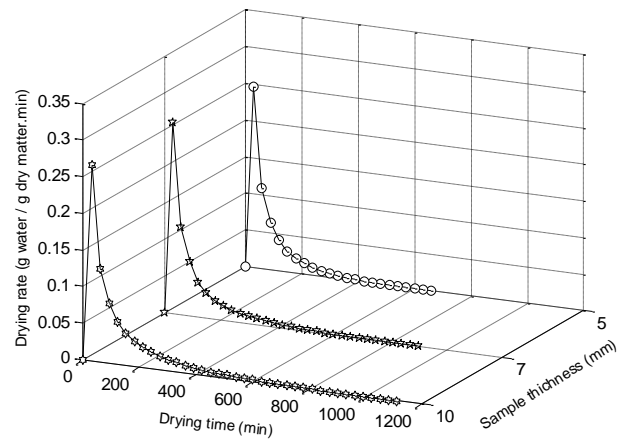


Figure 11. The variation of moisture ratio with drying rate and sample thickness

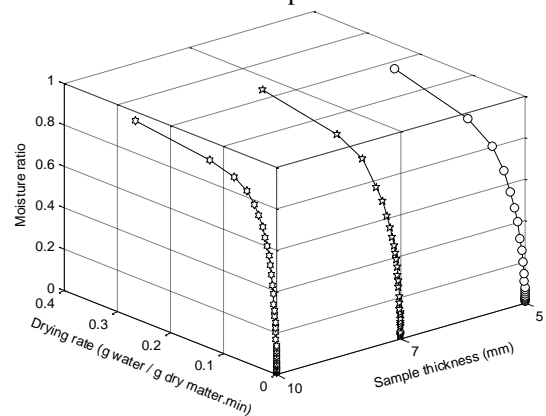


Figure 12. Variations between the experimental-observed moisture ratio data and the predicted moisture ratio data by Page model

Further regressions were made to take the effect of sample thickness into account on the coefficients of the page model. Marquardt-Levenberg non-linear optimization method was used to determine the coefficients of the page model (Eq. 6).

$$MR = \exp(-kt^n) \quad (6)$$

The exponential function has given the highest values of R^2 and the lowest values of $RMSE$ and X^2 . The effect of the sample thickness on the coefficients of the page model are expressed as follows:

$$k = 0,0001 - 3,7513e^{-S} + 0,8014Se^{-S} \quad (7)$$

$$n = 1,3840 + 0,66746x10^3 \exp^{-S} - 0,13937 x10^3 S \exp^{-S} \quad (8)$$

where S is sample thickness (mm).

The most suitable result of the page model was given in Table 3 for freeze-dried apple samples. From

those values, the R^2 changed between 0.996812 and 0.998404, the X^2 between 0.00032 and 0.000546 and the $RMSE$ between 0.002863 and 0.004122. Moisture Ratio for 5 mm, 7 mm and 10 mm apple samples obtained from Page model (predicted) was compared with Moisture Ratio for 5 mm, 7 mm and 10 mm apple samples observed (experimental) during the drying process is shown in Fig. 12. As it can be seen in Fig. 12, the predicted values of the page model and experimental values are in good agreement for 5 mm, 7 mm and 10 mm samples. The performances of the Page model for apple samples are shown in Fig. 13. It is obvious from Fig. 13 that the experimental data generally banded a straight line representing the predicted data. These figures show that generalized Page model are valid for freeze-dried apples at sample thicknesses of 5-10 mm and the apple moisture ratio of apple at any time during drying process could be predicted.

Table 2. The drying constants and the results of the statistical analyses for apple

Model no	Samples	Model constants	R^2	χ^2	$RMSE$
1	5 mm	k = 0.004667	0.9828	2.520x10 ⁻³	0.0490
	7 mm	k= 0.003101	0.9913	1.456 x10 ⁻³	0.0375
	10 mm	k = 0.002135	0.9728	5.460x10 ⁻³	0.0728
2	5 mm	k = 0.001808 n = 1,186	0.9973	4.168x10⁻⁴	0.0194
	7 mm	k = 0.001779 n = 1.103	0.9968	5.526x10⁻⁴	0.0227
	10 mm	k = 0.00027761 n = 1.351	0.9988	2.398x10⁻⁴	0.0150
3	5 mm	k = 0.00683 n = 0.6834	0.9828	2.643x10 ⁻³	0.0490
	7 mm	k = 0.004573 n = 0.6781	0.9913	1.508x10 ⁻³	0.0375
	10 mm	k = 0.003744 n = 0.5703	0.9729	5.613x10 ⁻³	0.0728
4	5 mm	k = 0.004864 n = 1.186	0.9972	4.211x10 ⁻⁴	0.0648
	7 mm	k = 0.003171 n = 1.103	0.9966	5.914x10 ⁻⁴	0.0234
	10 mm	k = 0.002323 n = 1.35	0.9987	2.548x10 ⁻⁴	0.0155
5	5 mm	a = 1.057 k = 0.005074	0.9897	1.603x10 ⁻³	0.0381
	7 mm	a = 1.046 k = 0.003319	0.9946	9.488x10 ⁻⁴	0.0297

	10 mm	a = 1.084 k = 0.002425	0.9855	3.074×10^{-3}	0.0539
	5 mm	a = 1.19 c = -0.1693 k = 0.003769	0.9915	1.380×10^{-3}	0.0295
6	7 mm	a = 1.046 c = 2.297×10^{-14} k = 0.003319	0.9946	9.840×10^{-4}	0.0297
	10 mm	a = 1.436 c = -0.3972 k = 0.001406	0.9920	1.700×10^{-3}	0.0395
	5 mm	a = 0.08166 b = 1.057 $k_i = 0.005074$ $k_o = 0.7278$	0.9897	1.781×10^{-3}	0.0381
7	7 mm	a = 0.1603 b = 1.046 $k_o = 0.003319$ $k_i = 0.7328$	0.9946	1.021×10^{-3}	0.0297
	10 mm	a = 0.6344 b = 0.4463 $k_o = 0.002419$ $k_i = 0.002405$	0.9852	3.334×10^{-3}	0.0545
	5 mm	a = 1.718 k = 0.006659	0.9970	4.572×10^{-4}	0.0203
8	7 mm	a = 1.596 k = 0.004033	0.9967	5.663×10^{-4}	0.0229
	10 mm	a = 1.869 k = 0.003457	0.9972	5.741×10^{-4}	0.0233
	5 mm	a = -0.003768 b = 3.612×10^{-6}	0.9967	5.050×10^{-4}	0.0214
9	7 mm	a = -0.00254 b = 1.744×10^{-6}	0.9901	1.750×10^{-3}	0.0404
	10 mm	a = -0.001712 b = 6.851×10^{-7}	0.9951	9.829×10^{-4}	0.0304
	5 mm	a = -0.05657 b = 0.007555 k = 0.6716	0.9897	1.685×10^{-3}	0.0381
10	7 mm	a = -0.04594 b = 0.01632 k = 0.2033	0.9946	9.863×10^{-4}	0.0297
	10 mm	a = 0.129 b = 0.000802 k = 2.111	0.9324	1.3769×10^{-2}	0.1124

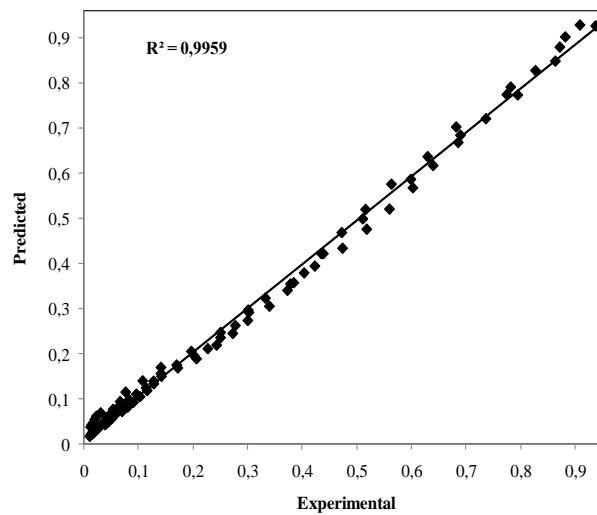
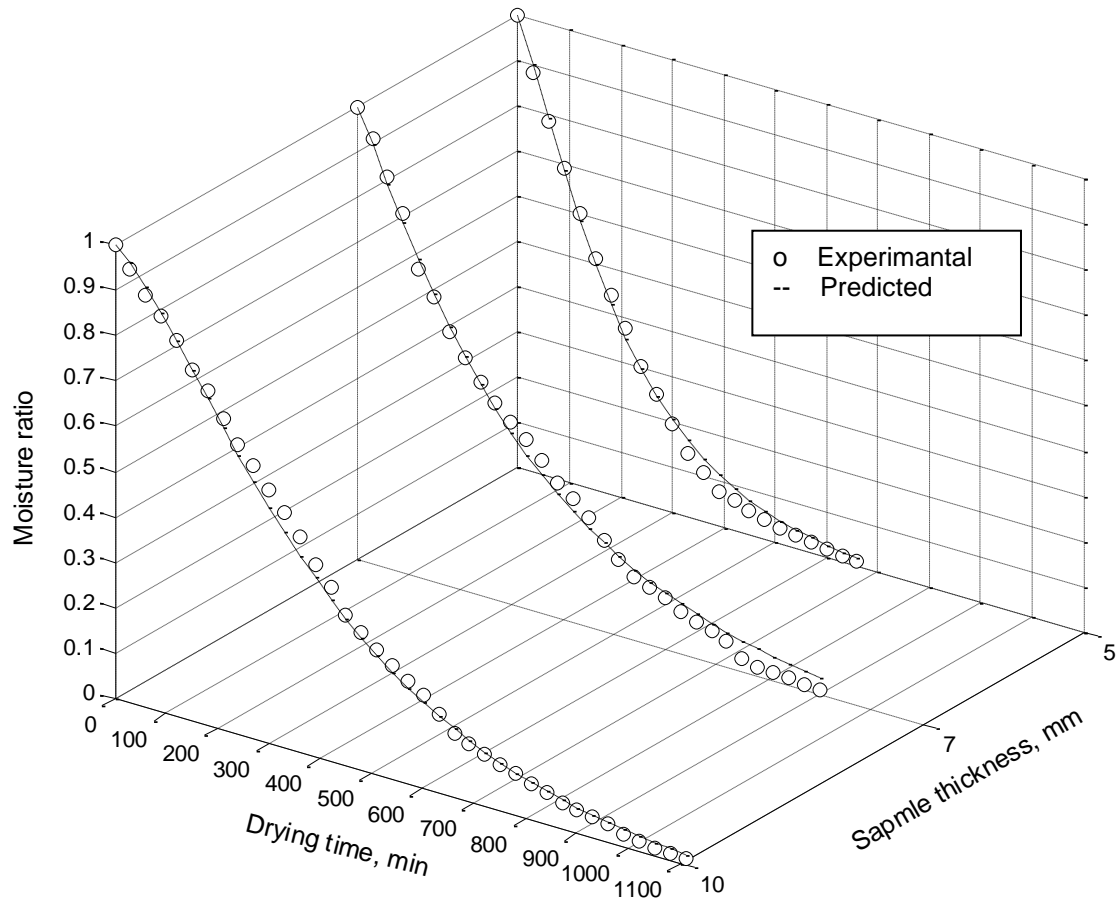


Figure 13. The comparison of experimentally observed data found during the drying process against the predicted moisture ratio by Page model

Table 3. Effect of sample thickness on Page model and its results

Sample thickness	R^2	χ^2	RMSE
$MR = \exp[-(0.0001 - 3.7513\exp-S + 0.8014S\exp-S)t^{(1.3840 + 0.66746 \times 10^3 \exp-S - 0.13937 \times 10^3 S \exp-S)}]$			
5	0.997501	0.000385	0.003992
7	0.996812	0.000546	0.004122
10	0.998404	0.00032	0.002863

4. CONCLUSIONS

From the results, it is seen that the drying process takes place in the falling rate drying period. Sample thickness has an important role in the drying rate and drying time and on the drying kinetics of freeze-dried apples. The drying rate decreases and the drying time increases with a bigger thickness. In addition, the drying kinetics of freeze-dried apples were investigated and modeled. In order to explain the drying behavior of the apples, ten different drying models taken from literature were compared with their R^2 , χ^2 and RMSE. Among the

models, Page model can be used to estimate the moisture ratio values of freeze-dried apples at any time of the freeze-drying process with a high ability at apple thicknesses of 5-10 mm.

ACKNOWLEDGEMENT

This study was funded by the Project (No. 07/2005-19) supported by the Gazi University, Unit of Scientific Research Projects.

NOMENCLATURE

a, b, c, n	drying constants in models	MR_{exp}	experimental moisture ratio
DR	drying rate (g water/g dry matter)	MR_{pred}	predicted moisture ratio
k, k_0 , k_1	drying rate constants (min^{-1})	N	number of observations
M	moisture content (g water/g dry matter)	R^2	coefficient of determination
M_e	equilibrium moisture content (g water/g dry matter)	RMSE	root mean square error
M_0	initial moisture content (g water/g dry matter)	S	Sample thickness (mm)
MR	moisture ratio (dimensionless)	t	time (min)
		z	number of parameters in model
		χ^2	chi-square

REFERENCES

1. S. Simal, E. Deya, M. Frau, and C. Rossello, Simple modeling of air drying curves of fresh and osmotically pre-dehydrated apple cubes, *Journal of Food Engineering*, 33, 1997, pp. 139-150.
2. E.K. Akpinar, A. Midilli, and Y. Biçer, Single layer drying behaviour of potato slices in a convective cyclone dryer and mathematical modeling, *Energy Conversion and Management*, 44, 2003, pp.1689-1705.
3. L.G. Marques, and J.T. Freire, Analysis of Freeze-Drying of Tropical Fruits, *Drying Technology*, 23, 2005, pp. 2169-2184.
4. M. Kopjar, V. Pilizota, J. Hribar, M. Simcic, E. Zlatic, and T.N. Nedic, Influence of trehalose addition and storage conditions on the quality of strawberry cream filling, *Journal of Food Engineering*, 2008, pp. 341-350.
5. I.C. Claussen, T.S. Ustad, I. Strømmen, and P.M. Walde, Atmospheric Freeze Drying-A Review, *Drying Technology*, 25, 2007, pp. 957-967.
6. A.I. Liapis, and R. Bruttini, Freeze-drying of pharmaceutical crystalline and amorphous solutes in vials: Dynamic multi-dimensional models of the primary and secondary drying stages and qualitative features of the moving interface, *Drying Technology*, 13, 1995, pp. 43-72.

7. A.I. Liapis, M.J. Pikal, and R. Bruttini, Research and development needs and opportunities in freeze drying, *Drying Technology*, 14, 1996, pp. 1265-1300.
8. H. Sadikoglu, and A.I. Liapis, Mathematical modelling of the primary and secondary drying stages of bulk solution freeze drying in trays: Parameter estimation and model discrimination by comparison of theoretical results with experimental data, *Drying Technology*, 15, 1997, pp. 791-810.
9. H. Sadikoglu, M. Ozdemir, and M. Seker, Optimal control of the primary drying stage of freeze drying of solutions in vials using variational calculus, *Drying Technology*, 21, 2003, pp. 1307-1331.
10. N. Hamdami, M. Sayyad, and A. Oladegaragoze, Mathematical modeling of thin layer drying kinetics of apples slices, *IUFoST*, 2006, pp. 1949-1958.
11. D. Velic, M. Planinic, S. Tomas, and M. Bilic, Influence of air flow velocity on kinetics of convection apple drying, *Journal of Food Engineering*, 64, 2004, pp. 97-102.
12. T.M. Lin, T.D. Durance, and C.H. Scaman, Characterization of vacuum microwave air and freeze dried carrot slices, *Food Research International*, 4, 1998, pp. 111-117.
13. F. Shishegarha, J. Makhlof, and C. Ratti, Freeze-drying characteristics of strawberries. *Drying Technology*, 20, 2002, pp. 131-145.
14. TÜİK, Statistical Database, Available: <http://www.tuik.gov.tr> [2010].
15. J. Wang, and Y. Chao, Drying characteristics of irradiated apple slices. *Journal of Food Engineering*, 52, 2002, pp. 83-88.
16. C. Bilbao-Sainz, A. Andres, A. Chiralt, and P. Fito, Microwaves phenomena during drying of apple cylinders, *Journal of Food Engineering*, 74, 2006, pp. 160-167.
17. J. Stawczyk, S. LI, D. Witrowa-Rajchert, and A. Fabisiak, Kinetics of atmospheric freeze-drying of apple, *Transp Porous Med*, 66, 2007, pp.159-172.
18. Q. Lui, and F.W. Bakker-Arkema, Stochastic modelling of grain drying. Part 2: Model development, *J Agricult Eng. Res.*, 66, 1997, pp. 275-280.
19. Q. Zhang, and J.B. Litchfield, An optimisation of intermittent corn drying in a laboratory scale thin layer dryer, *Drying Technology*, 9, 1991, pp. 383-395.
20. T. Gunhan, V. Demir, E. Hancioglu, and A. Hepbasli, Mathematical modelling of drying of bay leaves, *Energy Conversion and Management*, 46, 2005, pp. 1667-1679.
21. O. Yaldiz, and C. Ertekin, Thin Layer solar Drying of Some Different Vegetables, *Drying Technology*, 19, 2001, pp. 583-586.
22. H.M. Ghodake, T.K. Goswami, and A. Chakraverty, Mathematical modelling of withering characteristics of tea leaves, *Drying Technology*, 24, 2006, pp. 159-164.
23. İ.T. Togrul, and D. Pehlivan, Modelling of drying kinetics of single apricot, *Journal Food Engineering*, 58, 2003, pp. 23-32.
24. P.S. Madamba, R.H. Driscoll, and K.A. Buckle, Thin Layer Drying Characteristics of Garlic Slices. *Journal Food Engineering*, 29, 1996, pp.75-97.
25. Y.I. Sharaf-Elden, J.L. Blaisdell, and M.Y. Hamdy, A model for ear corn drying, *Transactions of the ASAE*, 5, 1980, pp. 1261-1265.
26. İ. Doymaz, Convective drying kinetics of strawberry, *Chemical Engineering and Processing*, 47, 2008, pp. 914-919.
27. A.S. Kassem, Comparative studies on thin layer drying models for wheat, In: 13th international congress on agricultural engineering, 1998, vol. 6, 2-6 February, Morocco.
28. H.O. Menges, and C. Ertekin, Mathematical modeling of thin layer drying of golden apples, *Journal of Food Engineering*, 1, 2006, pp. 119-125.
29. I. Doymaz, Thin-layer drying behaviour of mint leaves, *Journal of Food Engineering*, 74, 2006, pp. 370-375.
30. V. Kırmacı, H. Usta, and T. Menlik, An Experimental Study on Freeze Drying Behavior of Strawberries. *Drying Technology*, 12, 2008, pp. 1570-1576.
31. V. Kırmacı, Dondurarak Kurutma Sisteminin Tasarımı, İmalatı ve Performans Deneylelerinin Yapılması, Ph.D. Thesis, Institute of Science and Technology, Gazi University, Ankara, Turkey, 2008.

Küçük Akarsu Debilerinin Belirlenmesinde Farklı Yöntemlerin Karşılaştırılması

Mehmet ARDIÇLIOĞLU^{1*}, Serkan ÖZDİN¹, Ercan GEMİCİ²

¹Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kayseri / Türkiye

²Bartın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bartın / Türkiye

Yayın Bilgisi

Yayın Geçmişi

Geliş T.: 02.04.2013

Revizyon T.: 22.04.2013

Kabul T.: 06.05.2013

Anahtar Kelimeler

Akarsu

Debi

Manning

Entropi

Özet

The flow properties must be determined in order to carry out wisely sustainable usage of water resources in terms of both quantity and quality. Velocity measurement, which is the best correct method to calculate discharge in open channel flow, is a duty requiring high effort and expense. For this reason different practical methods are frequently used with minimum parameters. In order to compare these practical methods, the results of the measurements obtained from Kırıközü station which is located at side branches of Kızılırmak River are considered for seven different flow conditions. The velocity measurements taken by Acoustic Doppler Velocimeter (ADV) throughout the entire cross-section verticals and the velocity profiles were obtained for streamwise direction. Discharges obtained by integrating the velocity profiles were compared with six different methods which are commonly used in practice. Relative differences between discharge obtained by integrating the velocity profiles and discharges also obtained from velocities at 0,8H-0,2H, 0,6H depth of water surface were fairly small. The mean absolute value of these relative differences for seven different measurements were calculated as 3,7% and 5,7% respectively. The integrated discharges were also compared with Stage –discharge curve, Manning equation and water surface velocity method and the comparison results are like 18,7%, 17,3% and 25,0% respectively. As for another method, entropy method, the mean absolute difference was found as 13,8% which is third better methods for discharge calculation.

Keywords

River

Discharge

Manning

Entropy

Effects of Circulation on the Critical Submergence of an Intake

Abstract

The flow properties must be determined in order to carry out wisely sustainable usage of water resources in terms of both quantity and quality. Velocity measurement, which is the best correct method to calculate discharge in open channel flow, is a duty requiring high effort and expense. For this reason different practical methods are frequently used with minimum parameters. In order to compare these practical methods, the results of the measurements obtained from Kırıközü station which is located at side branches of Kızılırmak River are considered for seven different flow conditions. The velocity measurements taken by Acoustic Doppler Velocimeter (ADV) throughout the entire cross-section verticals and the velocity profiles were obtained for streamwise direction. Discharges obtained by integrating the velocity profiles were compared with six different methods which are commonly used in practice. Relative differences between discharge obtained by integrating the velocity profiles and discharges also obtained from velocities at 0,8H-0,2H, 0,6H depth of water surface were fairly small. The mean absolute value of these relative differences for seven different measurements were calculated as 3,7% and 5,7% respectively. The integrated discharges were also compared with Stage –discharge curve, Manning equation and water surface velocity method and the comparison results are like 18,7%, 17,3% and 25,0% respectively. As for another method, entropy method, the mean absolute difference was found as 13,8% which is third better methods for discharge calculation.

1. GİRİŞ

Canlı hayatının devam edebilmesi için gerekli olan suyun önemi her geçen gün daha da artmaktadır. Kısıtlı olan temiz su kaynakları ve bunların yeryüzünde dağılımının ihtiyaçlarla örtüşmemesi, suyun planlanmasını kaçınılmaz kılmaktadır. Artan nüfusla birlikte bilinçsiz kullanıma bağlı olarak kirlenen su kaynakları özellikle büyük yerleşim bölgelerinde problem olmaktadır. Temiz ve kullanılabilir su elde edilmesinde akarsular önemli bir yere sahiptir. Akarsular sadece yerleşim bölgelerinin su ihtiyaçları için değil, sulama suyu temininde, hidroelektrik santralleri aracılığıyla elektrik üretiminde, taşımacılıkta ve dünyadaki ekolojik dengenin korunmasında önemli bir role sahiptir. Bu bakımdan akarsulardaki akım özelliklerinin miktar ve kalite bakımından belirlenmesi önem arz etmektedir^[1]. Günümüzde küçük akarsuların hidroelektrik enerji üretimi için kullanımı oldukça önem kazanmıştır. Bu amaçla akarsuyun taşıdığı

debinin bilinmesi gerekmektedir, yeterli ölçüm verilerinin bulunmaması nedeniyle doğru planlama ve projelendirme yapılması güç olmaktadır.

Su kaynaklarının planlanmasında en önemli parametre olan debinin belirlenmesi amacıyla kullanılan değişik yöntemler bulunmaktadır. Bunlardan en yaygın olarak kullanılan Manning denklemi gibi ampirik ifadelerde, pürüzlülük katsayılarının doğru olarak belirlenmesi güç olmakta çoğu zaman hassas sonuçlar elde edilememektedir. Ölçüme dayalı debinin belirlenmesi de doğrudan debi ölçümleri veya hız-alan ölçümüne dayanan yöntemler şeklinde gerçekleştirilmektedir. Doğrudan ölçüm yöntemlerine örnek olarak; ağırlık ölçümü, manyetik akımölçerler, ventüri savakları söylenebilir. Hız-alan ölçüm yönteminde ise, belirli bir kesitte akan kütleinin söz konusu kesitteki hızı ile kesit alanı çarpılarak debi belirlenmektedir. Bu yöntemin en önemli yanı, hız

*Sorumlu Yazar: Ardiçlioğlu M., mardic@erciyes.edu.tr

ölçümüdür^[2]. Yerinde yapılan hız ve yükseklik ölçümler zahmetli ve masraflı olmaktadır.

Chiu ve Said^[3], ele alınan kanal kesitinde ortalama hız U ve maksimum hız u_{mak} oranının sabit olduğunu bildirmişlerdir. Bir kesite ait bilinen bu oran yardımı ile, ortalama hıza göre daha kolay belirlenebilen maksimum hız kullanılarak debinin hesaplanabileceğini ifade etmişlerdir. Maksimum hızın enkesit üzerinde en derin düşeyde ve su yüzüne yakın bölgede oluştuğu belirtilmektedir^[4].

Bu çalışmada küçük akarsularda debinin belirlenmesi amacıyla Kızılrımağın yan kollarından Kırküzü istasyonunda yedi farklı tarihlerde yapılan enkesit hız ölçümleri kullanılmıştır. Yedi farklı yöntem ile hesaplanan debiler arasındaki farklar irdelenerek yöntemlerin zorluğu ve hassasiyeti karşılaştırılmıştır.

2. DEBİ HESAP YÖNTEMLERİ

2.1. Hız Alan Yöntemi

Açık kanal akımlarında en kesit üzerinde yapılacak hız ölçümleri yardımı ile debi hassas olarak belirlenebilmektedir. Bu amaçla ele alınan enkesit dilimlere bölünür. Dilimlere ait ortalama hızlar farklı yöntemler ile belirlenerek dilim debileri hesaplanabilmektedir. Parçalanmış alanların her birinden geçen debi toplanarak kesitten geçen akımın debisi gerçeğe en yakın şekilde bulunabilir.

Hız-alan yönteminde en kesit T (m), her bir dilimden geçen debi yaklaşık eşit olacak şekilde parçalara bölünür (Şekil 1). Her bir dilime ait ortalama hızlar, o dilimi temsil edecek düşeyde yapılan noktasal hız ölçümleri yardımıyla belirlenir. Ele alınan düşeyde çok sayıda hız ölçümü olması durumunda bu düşeye ait ortalama hız, (1) denklemindeki gibi hesaplanabilir.

$$U_i = \frac{\sum a_j}{H_i} = \frac{\sum \frac{(u_j + u_{j+1})}{2} h_j}{H_i} \quad (1)$$

Burada U_i ; dilime ait ortalama hız, u_j ve u_{j+1} ; ele alınan düşeydeki ardışık hızlar, h_j ; bu iki hız ölçüm noktası arasındaki uzaklık, a_j ; ardışık iki hız eğrisi arasındaki alan ve H_i ; ölçüm yapılan düşeye ait akım derinliğidir. Ele alınan düşeye ait ortalama hızın, (2) ifadesiyle hesaplanan dilim alanı ile çarpılmasıyla söz konusu dilime ait debi (q_i), (3) ifadesiyle belirlenebilmektedir. Bu ifadede A_i dilime ait alan, b_i dilim genişliğidir. Kesitten geçen debi (4) ifadesinde

verildiği üzere dilim debilerinin toplanmasıyla elde edilir. Burada n enkesitteki dilim sayısıdır.

$$A_i = b_i H_i \quad (2)$$

$$q_i = U_i A_i \quad (3)$$

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i = \sum_{i=1}^n U_i A_i \quad (4)$$

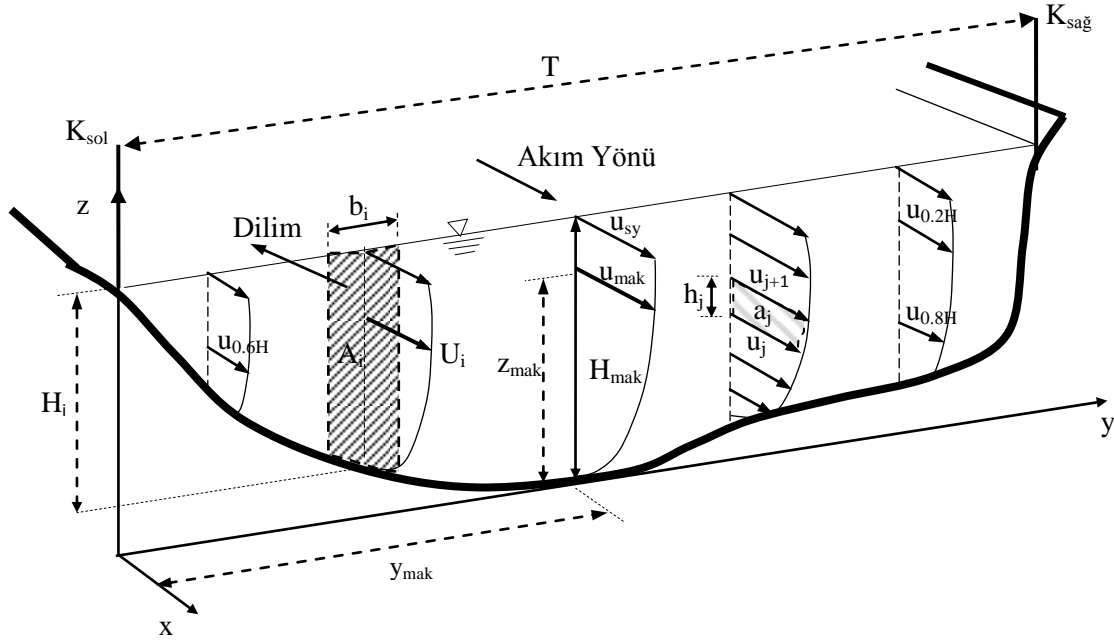
Pratikte dilim debileri belirlenirken ölçüm yapılan düşeyde, su yüzeyinden $0.2H$ ve $0.8H$ derinliğindeki hızların ortalamasının o dilime ait ortalama hızı temsil ettiği kabul edilir. Belirlenen bu dilim ortalama hızı yardımı ile (3) ve (4) ifadeleri kullanılarak kanal en kesitinden geçen debi hesaplanabilir. Literatürde bu yöntemin oldukça iyi sonuçlar verdiği bildirilmektedir. Akım derinliğinin az olduğu, sığ sularda su yüzeyinden $0.6H$ derinlikteki hız ölçülerek bu hızın o dilime ait ortalama hız olarak kullanılması önerilmektedir. (Şekil 1)^[5]

2.2. Anahtar Eğrisi Yöntemi

Bir kesitte debi ve derinlik değerleri arasında çizilen eğriye Anahtar Eğrisi denir. Farklı akım koşullarında seviye ve debi ölçümleri yapılarak anahtar eğrisi oluşturulur. Anahtar eğrisinin çıkarıldığı kesitte seviye ve debi arasında belirli ve tek bir bağlantının bulunması gerekir, böyle bir kesite kontrol kesiti denir. Alüvyonlu akarsularda tabanın hareketli olması nedeniyle oyulma ve yığılmalar sonucunda anahtar eğrisi değişebilir. Bu nedenlerle kesitin anahtar eğrisinin değişip değişmediğini arada bir (yılda birkaç defa) kontrol etmek gerekir. Yüksek debi durumlarında debi ölçüm çok güç olduğu için anahtar eğrisini yüksek debilere doğru uzatmak gerekir. Fakat anahtar eğrisinin ölçülmüş olan debilerin yukarıdaki bölgede ekstrapolasyonu her zaman iyi sonuç vermez. Anahtar eğrisi için Q debisi ile H seviyesi arasında (5) ifadesindeki gibi bir bağıntı kullanılmaktadır.

$$Q = aH^b \quad (5)$$

Bu bağıntıdaki a ve b sabit değerleri o istasyonda ölçülmüş değerlerden elde edilir.



Şekil 1. Ölçüm yapılan düzeyde ortalama hızın hesabı.

2.3. Manning Denklemi

Akarsulardaki ölçümler, çevresel etkenler, doğa şartları ve akım özellikleri gibi birçok nedene bağlı olarak yerinde yapılan çalışmalarla gerçekleştirilememektedir. Bu zorluklar araştırmacıları birçok ampirik formül geliştirmeye yönlendirmiştir. Bu formüllerin en bilineni ifadenin kolay kullanımı ve çoğu zaman gerçeğe yakın sonuç vermesi nedeniyle yaygın olarak kullanılan Manning-Strickler eşitliğidir.

$$Q = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} A \quad (6)$$

Burada Q (m^3/s); kesitten geçen debi, n ; Manning pürüzlülük katsayısı, R (m); hidrolik yarıçap olup $R=A/P$ ifadesi ile belirlenmektedir. Burada A (m^2); ıslak en kesit alanı ve P (m); ıslak çevreyi ifade etmektedir. S ; enerji çizgisinin eğimi olup, üniform akımlarda su yüzü ve kanal taban eğimine eşit alınabilir. Formülün kullanımındaki en büyük sıkıntı kanal şartlarına bağlı olarak pürüzlülük katsayısı n 'in gerçeğe yakın olarak belirlenebilmesidir. Manning pürüzlülük katsayısı için farklı yüzeylere ait alınabilecek minimum ve maksimum değerler literatürde verilmiştir^[6].

2.4. Su Yüzü Hızı ile Debi Hesabı

Akarsularda su yüzü hızı (u_{sy}) ile ortalama hız (U) arasında doğrusal bir ilişki olduğu bilinmektedir. Bu ilişki en kesit için doğru bir şekilde belirlendiğinde kesite ait ortalama hızın hesabı mümkün olmaktadır. Bu yöntemde dikkat edilmesi gereken en önemli konu su yüzü hızının doğru bir şekilde tespit edilebilmesidir. Bu amaçla akarsu üzerinde su yüzü hızının ölçülmesi için başlangıç ve bitiş noktaları belirlenerek bu iki nokta arasındaki mesafe L_{sy} (m) ölçülmelidir. Literatürde bu mesafenin kesit genişliğinin yaklaşık on katı olması

tavsiye edilmektedir. Su yüzü hızı (7) ifadesi yardımıyla bulunmaktadır. Bu ifadede L_{sy} ; alınan yol t (s) ise bu yolun alındığı süredir.

$$u_{sy} = L_{sy}/t \quad (7)$$

Su yüzü hızı ortalama hızdan büyük olmaktadır. Yapılan çalışmalarda, debi hesabının (8) ifadesindeki gibi bir denklemle yapılacağı bildirilmiştir.

$$Q = k_{sy} u_{sy} A \quad (8)$$

Buradaki k_{sy} katsayısının derin sularda 0.8 ile 0.9 aralığında değiştiği ve genel olarak 0.85 alınabileceği bildirilmektedir. Sığ sularda ise bu katsayının 0.67 civarında hesaplandığı belirtilmiştir^[7].

2.5. Entropi Yöntemi ile Debi Hesabı

Chiu (1989) açık kanallarda hız dağılımını ve debiyi belirlemek için olasılık dağılımını esas alan entropi metodunu geliştirmiştir. Bu yöntem entropiyi maksimize etme temeline dayanılarak geliştirilen istatistiksel bir yöntemdir. Bu yöntemin esası akarsuda ele alınan kesite ait ortalama (U) ve maksimum hızın (u_{mak}) oranının değişmemesidir. Benzer bulgular Xia^[8] tarafından da verilmiştir. Bu sabit oran (9) ifadesi ile verilen M entropi parametresi ile gösterilmiştir.

$$\frac{U}{u_{mak}} = \phi(M) = \frac{e^M}{e^M - 1} - \frac{1}{M} \quad (9)$$

Kesite ait bilinen M parametresi dolayısıyla sabit U/u_{mak} oranı yardımı ile maksimum hızın ölçülmesi durumunda ortalama hız; dolayısıyla debi kolaylıkla

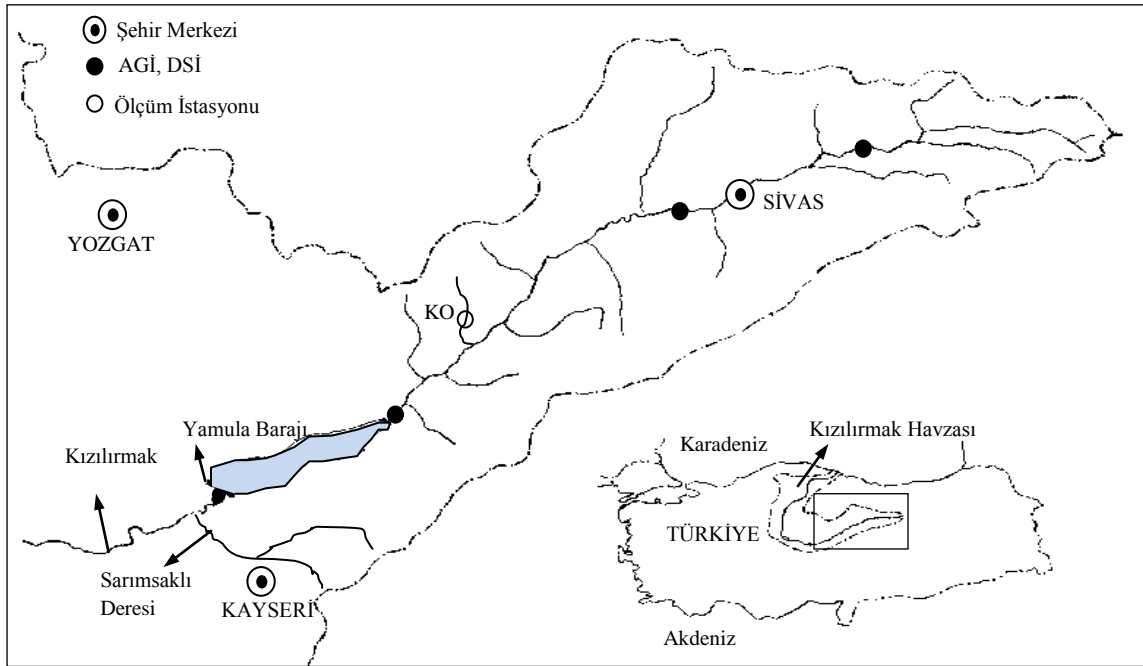
belirlenebilmektedir. Maksimum hızın enkesit üzerindeki yeri ve konumu ortalama hıza göre daha kolay belirlenebilir. Literatürde bir enkesitte maksimum hızın, kesitin ortalarında ve en derin olan düzeyde oluşacağı vurgulanmaktadır^[5]. Bu düzeyde yüzeye yakın yapılacak birkaç hız ölçümü neticesinde enkesitteki maksimum hızı belirlenebilir. Geometrik olarak kolayca belirlenebilen en kesit alanı ve ölçülen maksimum hız yardımı ile kesitten geçen debi (10) ifadesi kullanılarak hesaplanabilir.

$$Q=UA \quad (10)$$

Bu ifadede Q ; kesitten geçen debi, U ; ortalama hız ve A da kesit alanıdır.

3. ARAZİ ÖLÇÜMLERİ

Arazi çalışmaları Orta Kızılırmak Havzası'nda yer alan Kayseri ili yakınlarındaki Kızılıрмаğın yan kollarından birinde Özvatan Kırıközü İstasyonu'nda (KO) gerçekleştirilmiştir Şekil 2. Bu istasyon Özvatan ilçesinin 10 km kuzey doğusunda, Taşlık mevkiinde yer almaktadır. Özvatan Kırıközü İstasyonu'nda Tablo 1'de verilen tarihlerde 7 adet ölçüm alınmıştır. Ölçümlerde Acoustic Doppler Velocitimeter (ADV) kullanılmıştır.



Şekil 2. Ölçüm istasyonunun bölgedeki yeri

Tablo 1 de Q ; kesitten geçen debi, H_{mak} ; kesitte ölçüm yapılan maksimum derinlik, A ; kesit ıslak alanı, $U (= Q/A)$; kesit ortalama akım hızı, u_{mak} ; kesitte ölçülen maksimum hız, S_{sy} ; serbest su yüzünün eğimi, $Re (=4UR/\nu)$ Reynolds sayısını göstermekte olup burada R ; hidrolik yarıçap ve ν ; kinematik viskozitedir.

$Fr (= U/\sqrt{gH_{mak}})$; Froude sayısını göstermektedir.

Bu sayılardan görüleceği üzere ele alınan tüm ölçüm şartlarında akımlar türbülanslı ve kritik altı akım (Nehir Rejimi) durumundadır.

Şekil 3'de ele alınan enkesitte gerçekleştirilen hız ölçümleri ve boykesit çıkartılması çalışmaları görülmektedir. Kanal tabanı incelendiğinde, killi-siltli yumuşak bir yapıya sahip olduğu, kesitin genel olarak normal yoğunlukta olan ufak boyutlu otlarla (<5cm) kaplı olduğu görülmüştür. Akarsuyun iki kıyısına da çakılmış olan kazıkların ve üzerindeki ip kılavuz olarak kullanılmıştır. Kazıklardan metre ile mesafeler ölçülerek enkesit daha öncede bahsedildiği gibi en kesit dilimlere ayrılmıştır. Ele alınana enkesitte hız ölçümleri kanal tabanından yukarı doğru $z=4$ cm'den başlayarak her 2 cm'de bir gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Özvatan Kırıközü İstasyonu'na ait ölçümlerden elde edilen değerler.

	Tarihler	Q	H _{mak}	A	U	S _{sy}	u _{sy}	u _{mak}	Re	Fr
	g/a/y	(m ³ /s)	(m)	(m ²)	(m/s)	-	-	(m/s)	-	-
Ölçüm	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
KO_1	05.07.2009	0.130	0.28	0.425	0.306	0.003	0.975	0.536	200702	0.185
KO_2	16.08.2009	0.042	0.22	0.276	0.152	0.003	0.474	0.298	76888	0.104
KO_3	18.10.2009	0.037	0.17	0.183	0.202	0.003	0.573	0.418	77327	0.157
KO_4	25.04.2010	0.467	0.42	0.754	0.619	0.006	1.139	0.955	643269	0.305
KO_5	23.05.2010	0.351	0.40	0.686	0.512	0.009	0.891	0.835	324950	0.258
KO_6	27.06.2010	0.235	0.34	0.550	0.427	0.008	0.885	0.872	220383	0.234
KO_7	18.07.2010	0.093	0.21	0.304	0.306	0.007	0.570	0.827	156717	0.021



4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Tablo 1 de verilen 2009–2010 yıllarında, yedi farklı tarihte gerçekleştirilen akım ölçümleri ile kesitten geçen debiler yedi farklı yöntem ile belirlenmiştir. Her bir akım durumunda en kesit su yüzü genişliğine (T) bağlı farklı sayıda dilimlere bölünmüştür. Dilimlerde derinlik boyunca yapılan hız ölçümleri kullanılarak dilim ortalama hızları (1) ifadesi yardımıyla belirlenmiştir. Hız alan yönteminde belirlenen bu ortalama hızlar kullanılarak (2), (3) ve (4) ifadeleri yardımıyla hassas debi (Q) değerleri hesaplanmış ve Tablo 2 de, (1). sütunda verilmiştir. İkinci ve üçüncü yöntemlerde dilim ortalama hızları, ele alınan düşeylerin $0.2-0.8H$ ve $0.6H'$ ında belirlenen hızlar kullanılarak debi hesabı benzer şekilde yapılmıştır. Bu debilerde sırasıyla $Q_{0.2-0.8}$ ve $Q_{0.6}$ olarak Tablo 2 de (2) ve (3). sütunlarda verilmiştir.

Kırıközü İstasyonunda gerçekleştirilen ölçümlerde derinlik boyunca hızların integrasyonu ile bulunan ve Tablo 2 de (1). sütunda verilen debi değerleri ile $Q_{0.2-0.8}$ ve $Q_{0.6}$ debileri arasındaki mutlak farklar (11) ifadesi yardımı ile hesaplanarak Tablo 3 de (1) ve (2). sütunlarda verilmiştir. Tablo dan görüleceği üzere tüm ölçüm durumlarında $Q-Q_{0.2-0.8}$ debileri arasındaki fark %10 dan küçük olmaktadır. Yedi ölçüme ait ortalama mutlak fark (OMF) ise %3.7 olarak belirlenmiştir. Dilim ortalama hızının belirlenmesinde derinliğin $0.2H-0.8H$ ındaki hızların kullanılabilmesi anlaşılmaktadır. Yedi ölçüme ait hesaplanan $Q-Q_{0.6}$ debileri arasındaki farkın ortalaması da %5.7 olarak hesaplanmıştır. Sığ sularda ortalama hızın belirlenmesinde $0.6H$ daki hızın kullanılabilmesi görülmektedir.

$$\varepsilon(\%) = \left| \frac{Q_{(1)} - Q_{(2)-(7)}}{Q_{(1)}} \right| \times 100 \quad (11)$$

Tablo 2. Özvatan Kırıközü İstasyonu'na ait debi analizleri.

	Q	Q _{0.2-0.8}	Q _{0.6}	Q _{anh}	Q _{Man}	Q _{sy}	Q _M
	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
KO_1	0.130	0.129	0.122	0.137	0.101	0.186	0.124
KO_2	0.042	0.043	0.042	0.070	0.055	0.059	0.045
KO_3	0.037	0.035	0.041	0.034	0.030	0.047	0.039
KO_4	0.467	0.488	0.489	0.422	0.346	0.385	0.392
KO_5	0.351	0.353	0.378	0.369	0.278	0.274	0.312
KO_6	0.241	0.234	0.256	0.235	0.237	0.218	0.255
KO_7	0.093	0.102	0.097	0.062	0.094	0.078	0.137

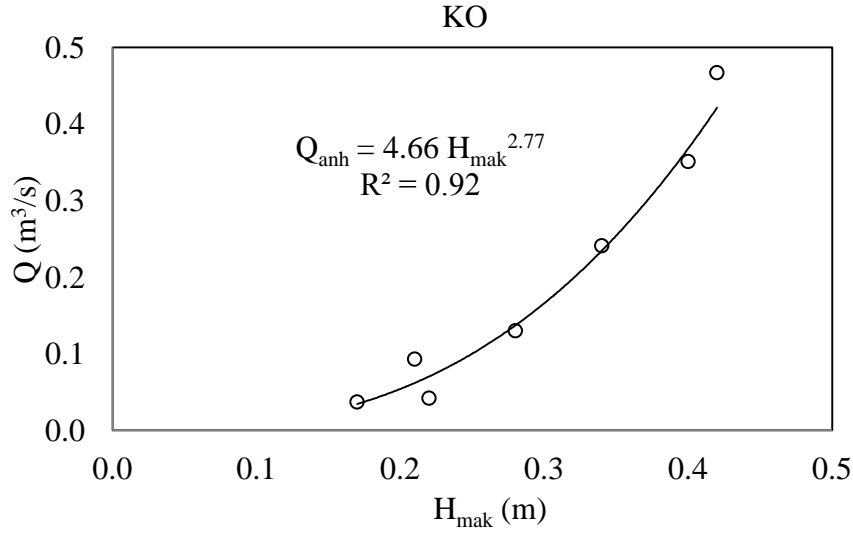
Tablo 3. Özvatan Kırıközü İstasyonu'na ait debi analizleri.

	Mutlak Fark (%)					
	Q-Q _{0.2-0.8}	Q-Q _{0.6}	Q-Q _{anh}	Q-Q _{Man}	Q-Q _{sy}	Q-Q _M
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
KO_1	0.8	6.2	5.6	21.9	42.9	4.5
KO_2	2.4	0.0	67.5	31.8	39.6	6.7
KO_3	5.4	10.8	6.9	17.6	27.0	5.1
KO_4	4.5	4.7	9.6	25.9	17.6	16.0
KO_5	0.6	7.7	5.0	20.9	21.9	11.1
KO_6	2.9	6.2	2.5	1.7	9.5	5.7
KO_7	9.7	4.3	33.5	1.4	16.5	47.3
OMF=	3.7	5.7	18.7	17.3	25.0	13.8

Ülkemizde birçok akım gözlem istasyonunda (AGİ) debiler anahtar eğrileri yardımı ile ölçülmektedir. Ele alınan istasyon (KO) ölçümlerine ait anahtar eğrisinin belirlenmesi amacıyla her bir ölçümdeki Q debileri ile maksimum su yükseklikleri arasındaki (H_{mak}) dağılım çizilerek Şekil 4'de verilmiştir. Kırıközü (KO) istasyonuna ait anahtar eğrisini gösteren üstel dağılım (12) ifadesindeki gibi elde edilmiş olup bu ilişkiye ait korelasyon katsayısı $R^2 = 0.92$ olarak şekil üzerinde verilmiştir. Bu değerden anlaşılacağı üzere KO istasyonuna ait anahtar eğrisi ölçümleri çok iyi temsil etmektedir. Hesaplanan anahtar eğrisi ile hesaplanan debiler Tablo 2 de (4). sütunda verilmiştir.

$$Q = 4.66 (H_{mak})^{2.77} \quad (12)$$

KO istasyonuna ait yedi ölçümde hassas olarak belirlenen debiler ile (Q), istasyon için elde edilen anahtar eğrisi denkleminde, (12), elde edilen debi değerleri (Q_{anh}) arasındaki rölatif farklar Tablo 3'de (3). sütunda gösterilmiştir. Tablo incelendiğinde 2. ölçümde %67.5 ve 7. ölçümde %33.5 hata ile debi hesaplandığı anlaşılmaktadır. Diğer 5 ölçümde hata oranı %10'dan azdır. Yüksek olan bu hata değerlerine rağmen 7 adet ölçümün hata ortalaması %18.7 olmuştur.



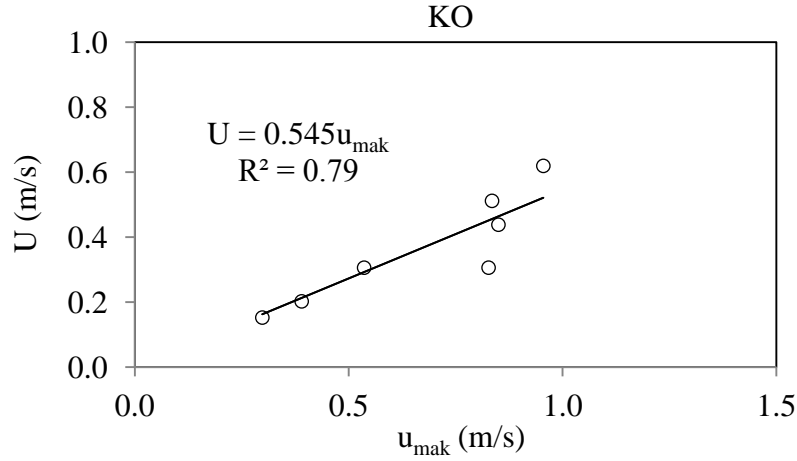
Şekil 4. Kırıközü istasyonu anahtar eğrisi.

Debi hesabında literatürde en çok kullanılan yöntemlerden biride Manning denklemidir. Kanalin fiziksel özellikleri bilinirken (akım alanı, ıslak çevre ve kanal eğimi) pürüzlülük katsayısı n belirlenerek kesite ait debi bu yöntemle hesaplanabilmektedir. Her bir akım durumunda topografik aletler ile belirlenen su yüzü eğimleri (S_{sy}) Tablo 1 de verilmiştir. Özvatan Kırıközü İstasyonu'nda sürtünme katsayısı kesit özelliklerine bağlı olarak $n=0.065$ olarak hesaplanmıştır^[1]. Hesaplanan bu pürüzlülük katsayısı ve bilinen kesit geometrik özelleri (6) ifadesinde kullanılarak KO İstasyonu'nda gerçekleştirilen yedi ölçüm için Manning debileri (Q_{Man}) hesaplanmıştır Tablo 2, (5). sütun. (Q) debileri ile Manning denklemi ile elde edilen debiler ($Q-Q_{Man}$) arasındaki rölatif farklar Tablo 3 (4). sütunda verilmiştir. Bu değerler incelendiğinde farkın ilk 5 ölçümde yüksek olduğu ortalama farkın ise %17.3 olduğu görülmektedir.

Bir diğer debi hesap yöntemi ise su yüzü hızı kullanılarak debi hesabı yapılmasıdır. Bu amaçla ölçüm yapılan kesitin 10m memba tarafından suya yüzen bir dal parçası bırakılarak (7) ifadesi yardımı ile her bir akım durumunda su yüzü hızı u_{sy} hesaplanmıştır (Tablo 1). Bu işlem her akım durumu için onar kez yapılarak ortalama değerler kullanılmıştır. Özvatan Kırıközü İstasyonu'nda ölçülen ortalama hızların (Tablo 1) yine ölçülen su yüzü hızlarına oranlarının (U/u_{sy}) ortalaması alınarak $k_{sy}=0.45$ şeklinde hesaplanmıştır. Bu katsayı ile OD İstasyonu'nun su yüzü hızı ile ortalama hız ifadesi $U=0.45u_{sy}$ şeklinde olmuştur. Bu katsayı literatürde belirtilen 0.8-0.9 aralığından küçük olmaktadır. Bu şekilde hesaplanan ortalama hızlar ile kesit alanı ile çarpılarak su yüzü debileri (Q_{sy}) belirlenmiş ve Tablo 2, (6). sütunda verilmiştir. Su yüzü debileri ile hassas

debiler ($Q-Q_{sy}$) arasındaki mutlak farklar (11) ifadesi ile hesaplanarak Tablo3 de (5). sütunda verilmiştir. Bu değerler incelendiğinde farkın %9,5 ile %42,9 arasında değiştiği ve ortalama mutlak fark (OMF) %25.0 olarak hesaplanmıştır.

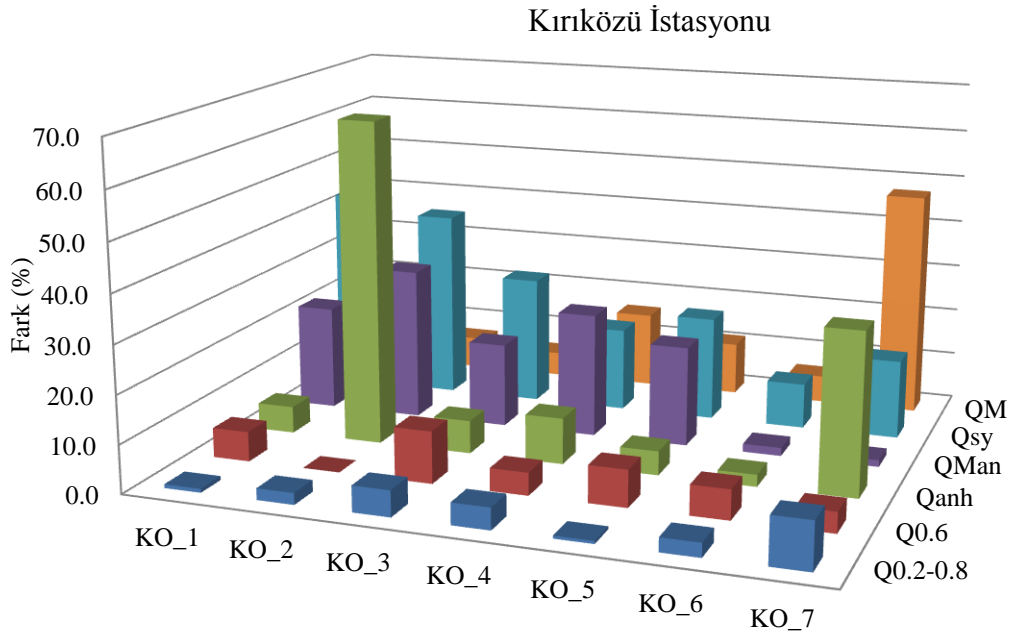
Entropi yöntemi ile debi hesaplanması için Kırıközü istasyona ait U/u_{mak} oranının veya entropi parametresi, M 'in belirlenmesi gereklidir. Özvatan Kırıközü İstasyonu'na ait ortalama hız (U) ve maksimum hız (u_{mak}) değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Bu hız değerleri yardımı ile $U-u_{mak}$ ilişkisi grafik halinde Şekil 5' de çizilmiştir. Grafikte yer alan doğrunun eğimi olan $\phi=0.545$ değeri kullanılarak (9) ifadesi yardımıyla KO İstasyonu'na ait entropi parametresi $M=0.54$ olarak hesaplanmıştır. Bu denklemin korelasyon katsayısı $R^2=0.79$ 'dur. Tablo 2'de, KO İstasyonu'na ait bilinen $\phi=0.545$ oranı ve her bir akımda ölçülen u_{mak} değerleri ile hesaplanan Q_M değerleri (7). sütunda verilmiştir. Yine hassas debiler (Q) ve entropi debileri (Q_M) arasındaki rölatif farklar da Tablo 3, (6). sütunda verilmiştir. Bu değerler incelendiğinde tüm ölçümlerde en düşük hata oranının %4.5 ve en yüksek hata oranının %47.3 olduğu anlaşılmaktadır. Diğer ölçümler için entropi yöntemi iyi sonuç vermektedir. Ele alınan 7 adet ölçüm için ortalama mutlak hata değeri ise %13.8 olarak hesaplanmıştır. Kırıközü istasyonu için hesaplanan OMH değerlerine bakıldığında entropi yönteminin anahtar eğrisi, Manning denklemi ve su yüzü hızı ile hesaplanan debilere göre daha iyi sonuçlar verdiğini anlaşılmaktadır. Debi hesabında küçük akarsular için entropi yöntemi kolaylıkla ve daha az ölçümle kullanılabilir.



Şekil 5. Özvatan Kırıközü İstasyonu $U-u_{mak}$ ilişkisi.

Şekil 6'da Özvatan Kırıközü İstasyonu'nda gerçekleştirilen 7 farklı ölçümde elde edilen, debi hata değerlerinin grafiği yer almaktadır. Şekilden $Q_{0.2-0.8}$ ve $Q_{0.6}$ debilerine ait hataların küçük olduğu görülmektedir. Anahtar eğrisine ait hatanın iki ölçümde yüksek, Manning debilerine ait farklar ilk beş ölçüm için %10

dan büyük olduğu anlaşılmaktadır. Su yüzü hızlarına ait farklar tüm ölçümler için %10 dan büyük olduğu, entropi yönteminin ise hız alan yöntemlerinden sonra en iyi sonuç veren debi hesap yöntemi olduğu bu farklardan anlaşılmaktadır.



Şekil 6. Özvatan, Kırıközü İstasyonu debi hesap farkları grafiği

5. SONUÇLAR

Günümüzde gittikçe artan su ihtiyaçlarına bağlı olarak küçük akarsuların hidroelektrik, sulama ve benzeri amaçlar ile değerlendirilmesi önem kazanmıştır. Bu sulara debinin belirlenmesi amacıyla kullanılan hız alan yöntemleri, yoğun emek ve zaman gerektirdiğinden pratik ve ekonomik olmamaktadır. Bu nedenle farklı yöntemlerin debi hesabında kullanım şekli ve sonuçları

örnek bir akarsu kesiti için ele alınmıştır. Kırıközü istasyonunda yedi farklı akım durumunda ele alınan yöntemler arasındaki farklar aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

- Su yüzeyinden 0.2H ve 0.8H derinliklerinde ve ayrıca 0.6H da ölçülen hızlar kullanılarak hız-alan yöntemi ile hesaplanan debiler, derinlik boyunca

yapılan hız ölçümleri yardımıyla hesaplanan debiye oldukça yakın, ortalama mutlak hatalar %5.0 civarında olmakta, literatürde kabul gören bu yaklaşımların küçük akarsuların debi hesabı için kullanılabileceği anlaşılmaktadır.

- Kesitte ait debi (Q), derinlik (H_{mak}) ilişkisinin anlamlı bir üstel dağılım gösterdiği, anahtar eğrisi olarak bu ifadenin kullanılabileceği, bu durumda ortalama mutlak hatanın %18.7 olduğu belirlenmiştir.

- Ölçüm yapılan kesit için pürüzlülük katsayısı $n=0.045$ olarak belirlenmiş ve Manning denklemi kullanılarak hesaplanan debiler hassa debilerden %17.3 farklı olduğu hesaplanmıştır.

- KO İstasyonu'na ait bilinen $\phi=0.545$ oranı ve her bir akımda ölçülen u_{mak} değerleri ile hesaplanan debilerin ele alınan 7 adet ölçüm için ortalama mutlak farkları %13.8 olarak hesaplanmıştır. Bu değer anahtar eğrisi, Manning denklemi ve su yüzü hızı farklarından küçük olmaktadır. Debi hesabında küçük akarsular için entropi yöntemi kolaylıkla ve daha az emekle kullanılabileceği görülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu Çalışma Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FBA-09-793 kodlu ve “Doğal akarsularda akım özelliklerinin entropi yöntemi ile belirlenmesi” başlıklı proje kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

1. Özdin, S., Doğal Akarsularda Akım Özelliklerinin Entropi Yöntemi ile İncelenmesi, YL Tezi, ERÜ FBE, Kayseri, 2012.
2. U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation, Water Measurement Manual, A Water Resources Technical Publication, Third edition, 1984.
3. Chiu C.L. & C.A. Said, Modeling of Maximum Velocity in Open-Channel Flow, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 121, No. 1, pp. 26-34, 1995.
4. Ardıçlıoğlu, M., Özdin, S., Determining Agricultural Water Demand From Natural Streams Using The Entropy Concept, African Journal of Agricultural Research, AJAR, 6 (6), 1330-1336, 2011.
5. Ardıçlıoğlu, M., Ozdin S. Gemici E. Kalin L., Determination of Flow Properties in Shallow Flow River, Dryland Hydrology: Global Changes and Local Solution, Arizona Hydrological Society Symposium, 1-4, September 2010, Tucson, AZ, USA.
6. Chow, V. T., 1959, Open Channel Hydraulics, Mc Graw – Hill Book Company, Tokyo, 680 s.
7. Water Measurement Manual, A Water Resource Technical Publication, U.S. Department of the Interior, Washington, DC, 2001.
8. Xia, R., 1997, Relation between mean and maximum velocities in a natural river. Journal of Hydraulic Engineering, 123 (8): 720-723.

Prizmatik Anizotrop Kirişlerin Eğilmesi

Etımad EYVAZOV^{1*}, Sabir KULİYEYEV², Şule APAYDIN¹

¹Bartın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, ;Makina Mühendisliği Bölümü, Bartın / Türkiye

²Azerbaycan Mimarlık ve İnşaat Üniversitesi, Bakü / Azerbaycan

Yayın Bilgisi

Yayın Geçmişi

Geliş T.: 15.04.2013
Revizyon T.: 23.04.2013
Kabul T.: 14.05.2013

Anahtar Kelimeler

Düzenli Fonksiyonlar
Kompleks Değişen
Fonksiyonlar
Cauchy Çekirdeği
Atalet Momenti
Laplace Operatörü

Keywords

Regular Functions
Complex Variable
Functions
Cauchy Core
Moment of Inertia
Laplace Operations

Özet

Prizmatik kirişlerin yuvarlatılması konusu bir ucu sabit diğer ucu hareketli eğme kuvveti P nin OX eksenine boyunca hareketinin incelenmesi ile yapılmaktadır. Kirişin yatay yüzeyi sabit bölgeye gömülmemekte ve hacimsel kuvvetlerde dikkate alınmamaktadır. Kirişin kesit alanı dikkate alındığında iki noktadan temas noktası dairesel beşgen L1 ve dıştan bir elipsle L2 ve sanal OY düzleminde iki dikdörtgenel kesitle tanımlanmaktadır. D.I. Sherman (izotrop malzemeler için) ve S.G. Lekhnitskiy'nin (anizotrop malzemeler için) öngördüğü metotlar kullanıldığında kirişlerin yuvarlatılması konusunda çeşitli kesitlerde çözüme kavuşturulmakta, uygulama alanı genişletilmekte ve doğru sonuçlar elde edilmektedir. Uyumlu haritalama metodu esasında uygulanan yaklaşım sayısal değerlerin elde edilmesinde zor bir metot olmasına karşın F(z) analitik fonksiyonun inşası hususunda uygun olduğu ortaya çıkarılmıştır.

Bending of Prismatic Anisotropic Beams

Abstract

The task of camber of prismatic bars is examined which has one end fixed rigid, and on the other free end the bending force P is in action along the axis OX. The lateral surface of the bar is not immersed and volumetric forces are absent. Cross section of the bar is a double connected area S, limited by regular curvilinear polygon L2 from outside and by ellipse L1 from inside, with two rectilinear sections continuous with an imaginary axis OY. Using methods which were established in due time by D.I. Sherman (for isotropic of materials) and S.G. Lekhnitskiy (for anisotropic materials), allowed to resolve tasks of the camber of bars with various sections with sufficient completeness, and thus, to expand a range of their applicability. The approach consisting in use of the conformal mapping apparatus in construction of the appropriate analytical function F(z), is offered which allows to get numerical results without great difficulties.

1. GİRİŞ

Cisimlerin malzemelerine bağlı olarak çeşitli kuvvetler etkisinde meydana gelen gerilmelerin hesaplanması çok büyük önem taşımaktadır. Doğrusal çatlakların uç noktalarında bu durum kendisini daha fazla gösterir. Bu problemde mevcut metotlar daha da geliştirilerek iki kısıtlı kesit alanına sahip kirişlerin toplam kuvvet etkisinden eğilme problemine bakılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

İzotrop kirişlerin eğilmesi probleminde olduğu gibi, Prizmatik anizotrop kirişlerin eğilmesi probleminde de kirişlerin bir ucu sabit bağlanır, diğer serbest ucuna eğici P kuvveti etkimektedir. Kirişin yan yüzeyine kuvvet etkimekte ve hacmi kuvvetler (üç boyutlu kuvvetler) göz önüne alınmamaktadır. Kirişin en kesitindeki düzlem elastik simetri düzlemiyle çakıştığından, aşağıdaki gerilme komponentlerinin sıfıra eşit olduğu kabul ediliyor.

$$\sigma_x = \sigma_y = \tau_{xy} = 0 \quad (1)$$

$$a_{14} = a_{24} = a_{34} = a_{46} = a_{15} = a_{25} = a_{35} = a_{56} = 0 \quad (2)$$

Bu halde kirişin herhangi $z=z_0$ ($0 < z_0 < 1$) en kesitinde

$$\sigma_z = -\frac{P}{J} ZX; \quad z < 0 < 1 \quad (3)$$

normal gerilmeye etki ediyor. Burada 1 kirişin uzunluğudur. Kirişin en kesitindeki τ_{xz} ve τ_{yz} gerilmeleri kesitin simetri eksenine düşen z koordinatından bağlı değildir. İzotrop kirişlerin eğilmesinde olduğu gibi Sen Venan (Saint Venan) metodu ile çözümlenir. Bu şartlar dâhilinde elastiklik teorisi göz önüne alınarak (2) ifadesine esasen aşağıdaki eşitlik yazılır;

$$\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} = \frac{P}{J} X \quad (4)$$

Kirişin her bir noktasında bir elastik simetri olduğu kabul edilerek Genel Hooke Kanunu kullanılırsa^[6];

$$\varepsilon_x = -\frac{P}{J} a_{13} \cdot XZ; \quad \gamma_{yz} = a_{44} \tau_{yz} + a_{45} \tau_{xz} \quad (5)$$

$$\varepsilon_y = -\frac{P}{J} a_{23} \cdot XZ; \quad \gamma_{xz} = a_{55} \tau_{xz} + a_{45} \tau_{yz} \quad (6)$$

$$\varepsilon_z = -\frac{P}{J} a_{33} \cdot XZ; \quad \gamma_{xy} = 0 \quad (7)$$

Sen Venan prensibine göre sadece aşağıdakiler kalır;

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\partial \gamma_{xz}}{\partial y} - \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial x} \right] = 0 \quad (8)$$

*Sorumlu Yazar: Eyvazov, E., eyvazov@bartin.edu.tr

$$\frac{\partial}{\partial y} \left[\frac{\partial \tau_{yz}}{\partial x} - \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial y} \right] = -\frac{2P}{J} a_{23} \quad (9)$$

Bu yazılanlardan (5,6,7) ifadelerini göz önüne alarak;

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[-a_{44} \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial x} - a_{45} \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + a_{45} \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + a_{55} \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial y} \right] = 0 \quad (10)$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left[-a_{44} \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial x} + a_{45} \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} - a_{45} \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} - a_{55} \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial y} \right] = -\frac{2P}{J} a_{23} \quad (11)$$

Bu (6) denkleminde integral sonucu aşağıdaki gibidir;

$$a_{44} \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial x} + a_{45} \left(\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} - \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} \right) - a_{55} \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial y} = -\frac{2P}{J} a_{33} y \quad (12)$$

Gerilme komponentleri τ_{xz} ve τ_{yz} gerilme fonksiyonu olarak adlandırılan ψ fonksiyonu ile;

$$\tau_{xz} = \frac{\partial \psi}{\partial y}; \quad \tau_{yz} = -\frac{\partial \psi}{\partial x} + \frac{P}{J} XY \quad (13)$$

gibi yazılır. (4) diferansiyel denklemi ile denge şartı sağlanır. (10,11) ifadelerini aşağıdaki şekilde yazabiliriz. Örneğin;

$$\tau_{xz} = -\frac{\partial \psi}{\partial y} + \frac{P}{2J} X^2; \quad \tau_{yz} = \frac{\partial \psi}{\partial x}; \quad (14)$$

görüldüğü gibi, bu durumda (4) diferansiyel ifadesi sağlanır. Eğer (14) ifadesini (12) denkleminde göz önüne alırsak aşağıdaki ifadeyi elde ederiz.

$$a_{44} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} - 2a_{45} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x \partial y} + a_{55} \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = -\frac{2P}{J} a_{23} y + \frac{P}{J} a_{44} y - \frac{P}{J} a_{45} x \quad (15)$$

Bu diferansiyel denklemin çözümü herhangi bir özel ψ_x ile (15)'un homojen olan

$$a_4 \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} - 2a_{45} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x \partial y} + a_{55} \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = 0 \quad (16)$$

Denkleminin genel $\psi_{üm}$ çözümünün toplamı gibi bulunmaktadır. Böylece;

$$\psi = \psi_x + \psi_{ym} \quad (17)$$

(15) diferansiyel denklemin özel halini aşağıdaki gibi ifade edebiliriz.

$$\psi_x = \frac{P}{4J} x^2 y + \frac{P}{12J} \cdot \frac{4a_{23} + a_{44}}{a_{55}} y^3 \quad (18)$$

(16) denkleminin genel hali;

$$\psi_{ym} = F(z_1) = F(x + \mu y); \quad z_1 = x + \mu y \quad (19)$$

(19) ifadesini (16) ifadesinde göz önüne alırsak diferansiyel denklemin karakteristik denklemi şöyle olur;

$$a_{55} \mu^2 + 2a_{45} \mu + a_{44} = 0 \quad (20)$$

Bu denklemin kökleri aşağıdaki gibi olur.

$$\mu_{1,2} = \alpha \pm i\beta; \quad \alpha = \frac{a_{45}}{a_{55}}; \quad \beta = \frac{\sqrt{a_{44}a_{55} - a_{45}^2}}{a_{55}} \quad (21)$$

Böylece (16) diferansiyel denkleminin çözümü şu şekilde olur.

$$\psi = F(x + \mu_1 y) = \bar{F}(x + \bar{\mu}_2 y) + C_1 x^2 y + C_2 y^3 \quad (22)$$

Burada;

$$C_1 = \frac{P}{4J}; \quad C_2 = \frac{P}{12J} \cdot \frac{4a_{23} + a_{44}}{a_{55}} \quad (23)$$

Anizotrop kırıların burulmasında olduğu gibi burada da $z_1 = x + \mu y$ genelleştirilmiş kompleks değişendir.

$$x_1 = x + \alpha y \quad \text{ve} \quad y_1 = \beta y \quad (24)$$

Afinn çevirmesini yapsak;

$$z_1 = x_1 + iy_1 \quad (25)$$

Genelleşmiş kompleks değişen, yeni bir S1 alanında basit kompleks değişene çevrilir. (22) ifadesi ile görülen gerilme fonksiyonu kırıların yüzeyi üzerinde sınır koşulunu sağlamalıdır.

$$\psi = \frac{P}{2J} \int x^2 dy + e_j \quad j = 1, 2, \dots \quad (26)$$

Burada e_y sabitleri gerilme durumuna etkilenmediğinden göz önüne almıyoruz. Gerilme fonksiyonu ψ belirlendikten sonra kırıların en kesit alanında teğet gerilme komponenti τ_{xz} ve τ_{yz} aşağıdaki ifadelerden buluruz^[1,3,8].

$$\tau_{yz} = 2R_e \left[\mu F'(Z_1) + \frac{\partial \psi_x}{\partial x} \right] \quad (27)$$

$$\tau_{xz} = -2R_e \left[F'(Z_1) - \frac{\partial \psi_x}{\partial y} \right] \quad (28)$$

Eğer (22) ifadesini (26) sınır koşulunda ele alarak;

$$F(t_1) + \bar{F}(\bar{t}_1) = C_1 x^2 y + C_2 y^3 - \frac{P}{2J} \int x^2 dy \quad (29)$$

Burada t_1 kırıların kesit alanı kısıtlayan Lj konturların affix noktalarıdır. Verilmiş iki sınırlı S alanım dönüştürülmesi sonucunda S₁ alanında regular olan F(z₁) fonksiyonu bulunur.

Burulma probleminde olduğu gibi kesit alanı uygun iki sınırlı alandır. Bakılan kırıların kesit alanı dıştan doğrusal L₂ çokgen ile içten ise elips ve iki doğru çatlaklı konturla kısıtlanmıştır.

$$F(z_1) = \sum_{k=1}^{\infty} \alpha_k \cdot \xi^{-k} + \sum_{k=1}^{\infty} b_k \cdot \left(\frac{z_1}{A_2}\right)^k \quad (30)$$

Burada

$$b_k = \sum_{n=k}^{\infty} \beta_k \cdot \frac{a_{n-k}^{(n)}}{N} \quad (31)$$

Eğer bakılan prizmatik kirişin malzemesi ortotropsa, burada problemin çözümü daha basitleşir. Böyle ortotrop metallere (10,11) ifadelerinde $a_{45}=0$; $a_{36}=0$ olduğu için (12) diferansiyel denkleminin formu (14) ifadesi gözönüne alınarak aşağıdaki şekilde yazılır.

$$a_{44} \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + a_{55} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} = -\frac{2P}{J} a_{23} y \quad (32)$$

İzotrop kirişin yan yüzeyi dış kuvvetlerden azat olduğu için (26) sınır şartı olduğu gibi kalır;

$$\psi = -\frac{P a_{23}}{J a_{55}} y x^2 + 2R_e F(z_1) \quad (33)$$

Burada $z_1 = x_1 + iy_1$ genelleşmiş kompleks değişendir. $a_{45}=0$ olduğunda (21) ifadesi aşağıdaki gibi olur;

$$\alpha = 0, \beta = \sqrt{\frac{a_{44}}{a_{55}}}, \quad x_1 = x, \quad y_1 = \beta y, \quad z_1 = x + i\beta y \quad (34)$$

Görüldüğü gibi burada apsis eksenine üzere lineer ölçüler olduğu gibi kalır. Ordinat eksenine ya kısılır ($V < 1$) ya da uzar ($B > 1$). (33) ifadesini (26) sınır şartında göz önüne alırsak;

$$F(t_1) + \overline{F(t_1)} = \frac{P}{J} \left[\frac{P a_{23}}{J a_{55}} y x^2 + \frac{1}{2} \int_{L_j} x^2 dy \right] \quad (35)$$

Görülür ki (25) çevirmesinden sonra L_2 konturu L_2' durumunu alır ve onun birim çevre etrafında inikâs fonksiyonu aşağıdaki şekilde olur.

$$Z_1 = A_2 \left(\xi + \frac{m_2}{\xi^{N-1}} \right) = A_2 \xi \sum_{n=0}^{\infty} m_2^n \xi^{-Nn} \quad (36)$$

İç L_1 konturu (25) çevirmesinden sonra L' konturuna dönüştürülür ve birim çevre etrafına yansıma fonksiyonu şöyle olur;

$$Z_1 = A_1 \xi \sum_{n=0}^{\infty} \Pi_n \xi^{-n} \quad (37)$$

Bu fonksiyonun tersi olan $\xi = \chi(z_1)$ fonksiyonu ise aşağıdaki şekilde olur;

$$\xi = \frac{z_1}{A_1} \sum_{n=0}^{\infty} h_n \left(\frac{A_1}{z_1}\right)^{2n} \quad (38)$$

Bu (36) ve (37) ifadelerini içeren $A_1, A_2, a_n, m_1, m_2, h_n, H_n$ ve s çarpanları uygun burulma probleminde olduğu gibi bulunur^[2,4,5].

Eğer (37) ifadesini (30) 'de göz önüne alsak, $F(z_1)$ fonksiyonu iç L_1 konturu üzerindeki ifadesi şöyle olur;

$$F(t_1) = \sum_{n=1}^{\infty} N_1(k) \tau^{-k} + \sum_{v=1}^{\infty} T_1(v) \tau^v + \sum_{v=1}^{\infty} T_2(v) \tau^{-v} \quad (39)$$

Eğer önce (38) ifadesini (30)'de göz önüne alsak, sonra (37)'a esasen, $F(z_1)$ fonksiyonunu dış L_2 konturu üzerinde sınır değeri bu şekilde alabiliriz;

$$F(t_1) = \sum_{n=1}^{\infty} N_1(k) \tau^{-k} + \sum_{k=0}^{\infty} N_2(k) \tau^k + \sum_{k=1}^{\infty} N_3(k) \tau^{-k} \quad (40)$$

(39) ve (40) ifadelerinde aşağıdaki şartlı işaretler kabul edilmelidir^[7].

$$T_1(v) = \sum_{n=k}^{\infty} b_n \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^n \cdot \Pi_{n-k}^{(n)} \quad (41)$$

$$T_2(v) = \sum_{n=1}^{\infty} b_n \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^n \cdot \Pi_{v+0}^{(n)} \quad (42)$$

$$N_1(k) = \sum_{n=k-NE}^{\infty} \left(\frac{k-1}{N}\right)^{**} E_1(n) \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^n \cdot m_2^{\frac{k-n}{N}} \cdot C_{-n}^{\frac{k-n}{N}} \quad (43)$$

$$N_2(k) = \sum_{n=k}^{\infty} b_n \cdot C_k^{\frac{n-k}{N}} m_2^{\frac{k-n}{N}} \quad (44)$$

$$N_3(k) = \sum_{n=(\frac{k+\varepsilon}{N-1})+\varepsilon}^{\infty} b_n \cdot m_2^{\frac{k+n}{N}} C_{-n}^{\frac{k+n}{N}} \quad (45)$$

$$\varepsilon = 0, 1, \dots, N - 2 \quad (46)$$

$$E_1(n) = \sum_{k=0}^n \alpha_k C_{n-k}^{(n)} \quad (47)$$

Tüm L_n katsayıları anizotrop kirişin burulması problemindeki gibi bulunur. (39) ve (40) ifadelerini (35) sınır koşulunda yerine koyalım, bir kaç matematik çevrimden sonra aşağıdaki iki sonsuz cebri denklemler sistemini alırız^[2,3].

$$\alpha_k + T_1(k) + T_1(k) = -\varepsilon_1 A_1^3 \Pi_0^{(3)} \lambda_1 - \varepsilon_1 A_1^3 \Pi_1^{(3)} \lambda_2 - \varepsilon_1 A_1^3 \Pi_2^{(3)} \lambda_3 + \varepsilon_1 A_1^3 \Pi_{n+3}^{(3)} + \varepsilon_2 A_1^3 E_1(v+1) - \varepsilon_2 A_1^3 E_3(v-1) \quad (48)$$

$$N_1(k) + N_2(k) + N_3(k) = \varepsilon_1 A_2^3 3 m_2 \lambda_5 + \varepsilon_1 A_2^3 3 m_2^3 \lambda_6 + \varepsilon_1 A_2^3 3 m_2^3 \lambda_7 - \varepsilon_1 A_2^3 \lambda_3 - \varepsilon_1 A_2^3 3 m_2 \lambda_8 + \varepsilon_2 A_2^3 (2 m_2 + m_2^3) \lambda_9 + \varepsilon_2 A_2^3 m_2 \lambda_{10} - \varepsilon_2 A_2^3 (1 + 2 m_2^2) \lambda_1 + \varepsilon_2 A_2^3 m_2 \lambda_{11} \quad (49)$$

(48) ve (49) cebri denklemler sisteminden açılımın önceki toplananları kabul edilerek bir sistem gibi beraber çözülür ve istenmekte olan α_k ve β_k sabitleri bulunur. Sonra ise S_1 alanında reguler olan $F(z_1)$ fonksiyonunu bulunur. Her bir denklem sisteminden seçilen terimler sayısı istenilen hassaslıkta ise kesit alan

konturlarının birbirine yakınlığı koşul şartına göre seçilir.

(48,49) denklemlerinde aşağıdaki değerler göz önüne alınmıştır.

$\lambda_1 = \begin{cases} 0, \text{ eğer } k \neq 1 \\ 1, \text{ eğer } k = 1 \end{cases}$	$\lambda_6 = \begin{cases} 0, \text{ eğer } k \neq 2N - 3 \\ 1, \text{ eğer } k = 2N - 3 \end{cases}$
$\lambda_2 = \begin{cases} 0, \text{ eğer } k \neq 2 \\ 1, \text{ eğer } k = 2 \end{cases}$	$\lambda_7 = \begin{cases} 0, \text{ eğer } k \neq 3N - 3 \\ 1, \text{ eğer } k = 3N - 3 \end{cases}$
$\lambda_3 = \begin{cases} 0, \text{ eğer } k \neq 3 \\ 1, \text{ eğer } k = 3 \end{cases}$	$\lambda_8 = \begin{cases} 0, \text{ eğer } k \neq N < 3 \\ 1, \text{ eğer } k = N > 3 \end{cases}$
$\lambda_4 = \begin{cases} 1, \text{ eğer } k \neq 1 \\ 0, \text{ eğer } k = 1 \end{cases}$	$\lambda_9 = \begin{cases} 0, \text{ eğer } k \neq N - 1 \\ 1, \text{ eğer } k = N - 1 \end{cases}$
$\lambda_5 = \begin{cases} 0, \text{ eğer } k \neq N - 3 \\ 1, \text{ eğer } k = N - 3 \end{cases}$	

$F(z_1)$ regular fonksiyonu belirlendikten sonra ortotrop kirişin en kesitinin istenilen noktasında teğet gerilmeler τ_{xz} ve τ_{yz} aşağıdaki ifadelerden bulunur.

$$\tau_{xz} = 2\beta \operatorname{Re}[iF(z)] - \frac{2P}{J} \frac{a_{23}}{a_{55}} xy \quad (50)$$

$$\tau_{yz} = -2\operatorname{Re}[F'(z)] + \frac{P}{2J} \left(1 + 2 \frac{a_{23}}{a_{55}}\right) \quad (51)$$

(47) ve onun eşleniğine esasen;

$$xy = -\frac{i}{4}(z_1^2 - \bar{z}_1^2) \quad (52)$$

olur.

3. SONUÇLAR

Elde edilen teorik hesaplamaları sayısal hesaplamalarla gerçekleştirmek mümkündür. Burada tüm hesaplamalar hassas, ciddi matematik hesaplamalar ile yapılmıştır. Alınan sonuçlar diğer yöntemlerle elde edilen sonuçlarla kıyaslandığında kendi doğruluğunu ispat etmektedir.

KAYNAKLAR

1. Amenzade Y.A, Teoriya Uprugosti M.1976.
2. Kuliyeve S.A., Dvumerniye Zadaçi Teori Uprugosti, M.1991, 252 s.
3. Musxelişvili N.İ. Nekotoriye Osnovniye Zadaçi Matematikçeskoy Teori Uprugosti, M. 1966, 707 s.
4. Savin F. N., Raspredeleniye Napryajeniy Okolo Otverstiy, Kiyev, Naukogo Dumka, 1968, 888 s.
5. Si Q., Paris Erdoğan F., Koefitsiyenti Konsentrasiy Napryajeniy Verşını Treşin Pri Ploskom Rastyojeniy İzgibe Plastin. Prik. Mex. Ser.E. T29, N2, 1962, 102 – 108 s.
6. Timoşenko S.İ., Gadyer D.”Teoriye Uprugosti M.1975, 576 s.
7. Şerman D.İ., Uprugaya Plaskost Pryamalinenımı Razrezami DAN SSSR, t.86, M. 1940, 635 – 638 s.
8. Çerepanov Q. P. Mekanica Xrupkogo Razruşeniya, Nauka, M. 1974, 640 s.

Altı Nozullu Karşıt Akışlı Vorteks Tüpünün Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi

Volkan KIRMACI^{1*}, İsmail CEBECİ², Mehmet Yavuz BALALI²

¹Bartın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bartın / Türkiye

²K. K. Astsbi M.Y.O. K. lığı, Balıkesir / Türkiye

Yayın Bilgisi

Yayın Geçmişi

Geliş T.: 17.04.2013

Revizyon T.: 29.04.2013

Kabul T.: 20.05.2013

Anahtar Kelimeler

Vorteks Tüp

Isıtma

Soğutma

Keywords

Vortex Tube

Heating

Cooling

Özet

Bu çalışmada, hacimsel debileri ayarlamak için bir kontrol vanası hariç hiçbir hareketli parçası bulunmayan vorteks tüpü kullanılmıştır. İç çapı 10 mm, uzunluğunun çapa oranı 10 ve 6 nozullu olan karşıt akışlı vorteks tüpü kullanılmış ve hava ile denenmiştir. Vorteks tüpü giriş basıncı 200 kPa' dan başlayarak 50 kPa aralıklarla 600 kPa kadar farklı basınçlar ve 0.38'den başlayarak 0.07 aralıklarında değiştirilerek 0.80 y. oranlarında oluşan enerji ayrışma olayı deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel sonuçları grafiklerle değerlendirilmiştir.

Effects of Circulation on the Critical Submergence of an Intake

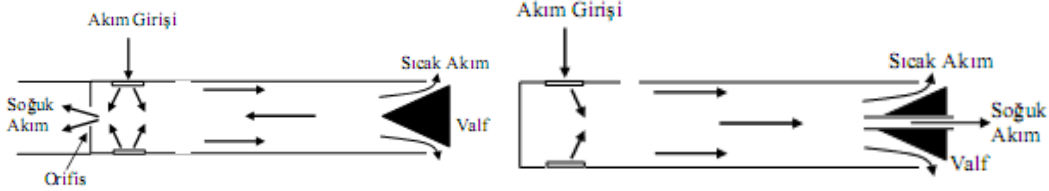
Abstract

In this study a counter flow vortex tube which has no moving parts excluding a control valve adjusting the volumetric flow rates has been used. The counter flow vortex tube has an internal diameter of 10 mm and a length to diameter ratio of 10 and 6 nozzles was produced and tested with air. Vortex tube with inlet pressures ranging from 200 kPa to 600 kPa in 50 kPa intervals with and for yc ratio from 0.38 to 0.80 in 0.07 intervals energy-separation case was investigated experimentally. Experimental results were evaluated by graphicness.

1. GİRİŞ

Vorteks tüpler, 1931 yılında metalurjist ve fizikçi olan George Joseph Ranque tarafından bulunmuş ve Rudolph Hilsch tarafından geliştirilmiştir^[1-3]. Vorteks tüpü, hareketli bir parçası bulunmayan basit bir borudan ibaret olan basınçlı akışkan kullanılarak aynı anda hem soğuma hem de ısınma işlemi gerçekleştirebilen bir sistemdir^[4]. Ebatlarının küçük ve hafif olmaları, gecikmesiz rejime ulaşmaları, kimyasal soğutkanlar gerektirmemeleri ve dolayısıyla ekolojik açıdan zararlı olmamaları gibi bir çok özellikleri ile vorteks tüpler günümüzde birçok soğutma ve ısıtma problemine çözüm olabilmektedirler^[5, 6]. Vorteks tüpleri değişik özellikleri dikkate alındığında iki ana grupta toplanabilir. Bunlar; akış özellikleri ve tasarım özellikleridir.

- a. Akış özelliklerine göre;
- Karşıt akışlı vorteks tüpler,
 - Paralel akışlı vorteks tüpler olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar.
- b. Tasarım özelliklerine göre;
- Adyabatik vorteks tüpler,
 - Adyabatik olmayan vorteks tüpler, olmak üzere sınıflandırılmaktadırlar^[7,8]. Vorteks tüpler böyle bir sınıflandırmaya tabi tutulmalarına rağmen tüm cihazların çalışma prensipleri aynı ilkelere dayanır^[9]. Karşıt akışlı ve paralel akışlı vorteks tüpünün çalışma prensibi Şekil 1 a ve b'de verilmiştir.



a. Karşıt Akışlı

b. Paralel Akışlı

Şekil.1. Karşıt ve paralel akışlı vorteks tüpler^[10]

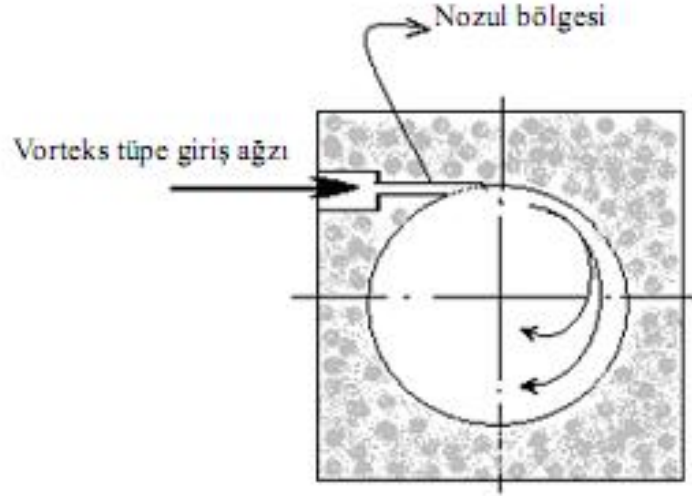
2. VORTEKS TÜPÜNÜN ÇALIŞMA PRENSİBİ ve UYGULAMA ALANLARI

2.1. Vorteks Tüpünün Çalışma Prensibi

Vorteks tüpe basınçlı akışkan, Şekil 2'de gösterildiği gibi bir nozuldan geçtikten sonra tüpe teğetsel olarak

gönderilir. Bu etki ve tüpün silindirik şekli sayesinde tüp içerisinde çok yüksek açılal hıza sahip akış oluşur. Bu akış merkezkaç kuvvetler etkisi altında tüp cidarına doğru açılmaya zorlanır.

*Sorumlu Yazar: Kırmacı, V., volkankirmaci@bartin.edu.tr

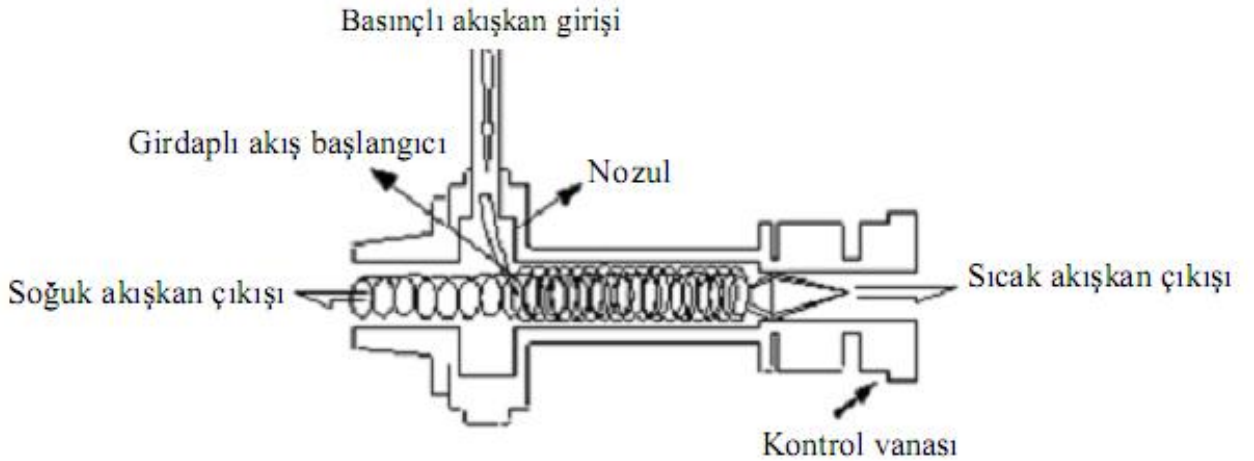


Şekil 2. Akışın vorteks tüpe teğetsel olarak nozuldan gönderilmesi

Bu arada tüp cidarındaki akışın basıncı, tüp merkezindeki oranla daha yüksek olur. Bu sebeple akışın bir kısmı radyal yönde tüp merkezine doğru genişler. Bu akışın açısal hızı, açısal momentumun korunumu gereğince artar. Dolayısıyla tüp içerisinde birbirinden farklı açısal hızlarda dönerek ilerleyen iki akış oluşur. Tüp merkezine yakın ve daha yüksek hızlı akış, tüp cidarına yakın olan ve daha düşük hızlı akışı ivmelendirmeye çalışır. Tüp cidarındaki akışkan,

cidardaki sürtünmenin etkisi ile, tüp merkezindeki akışkanın hızına göre daha düşüktür.

Bu sebepten dolayı merkezdeki akışkan tüp cidarındaki akışkana enerji transfer eder ve bir durma noktasından sonra vorteks tüpün geometrik yapısına bağlı olarak ters yönde hareket ederek vorteks tüpü terk eder (Şekil 3). Enerjisini transfer eden soğuk akışkan, enerji transfer edilen ise sıcak akışkandır^[11,12].



Şekil 3. Karşıt akışlı vorteks tüpünün yapısı^[12,13]

2.2. Vorteks Tüplerin Kullanım Alanları

Vorteks tüplerden aynı anda hem sıcak hem de soğuk akışkan elde edilmektedir. Vorteks tüplerinin kullanım alanları aşağıda maddeler halinde verilmiştir. Vorteks tüpler;

- Spot soğutma uygulamalarında,
- Kimyasal analizlerde,
- Orta sıcaklıklı kromatografik analizlerde,
- Kromatografik şırınganın soğutulmasında,
- Çözeltilerin soğutulmasında,
- Nem alınmasında,
- Kızılötesi analizlerde numunenin soğutulmasında,
- Düşük sıcaklık işlemlerinde,
- Elektronik devrelerin soğutulmasında,

- Gaz endüstrisinde kurutma işlemlerinde,
- Kar elde etmek, amacıyla kullanılmaktadır^[12,14].

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Deneysel Sistem ve Deneyin Yapılışı

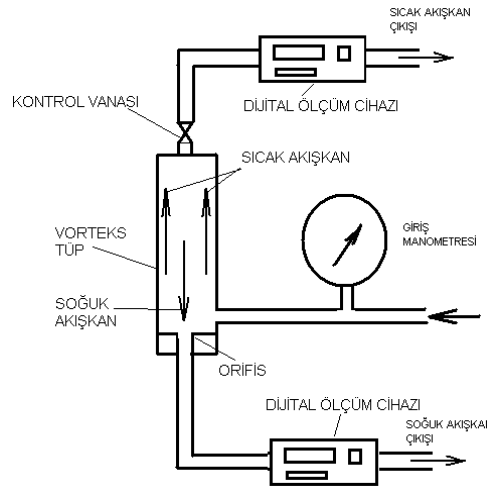
Bu çalışmada, iç çapı 10 mm, gövde uzunluğu 100 mm olan EXAIR 3240 marka abiyatik-karşıt akışlı bir vorteks tüp kullanılmıştır. Vorteks tüp, genişliği 55 cm, yüksekliği 33 cm, kalınlığı 1,2 mm olan bir sac levha üzerine yatay konumda bağlanarak aynı ölçülerde derinliği 30 cm. olan bir çantanın içerisine Şekil 4'deki gibi yerleştirilmiştir. Vorteks tüpüne, giren havanın basıncını ölçmek için %1 hassasiyetinde manometre ve ayrıca çıkan soğuk ve sıcak akışkanın basınçlarını (kPa),

sıcaklıklarını ($^{\circ}\text{C}$) ve hacimsel debilerini (l/min) ölçmek için 0,1 hassasiyetinde olan TSI (Trust. Science, Innovation) marka ölçüm cihazları bağlanmıştır. Kompresör ve sistem elemanları arasındaki bağlantılar basınca dayanıklı pnömatik hortum vasıtasıyla yapılmıştır. Vorteks tüpünün sıcak akışkanın çıkış ucuna hacimsel debileri ayarlamak için bir kontrol vanası monte edilmiştir. Bu vananın açılıp kapanmasına bağlı olarak çalışan vorteks tüpünün performansı sıcak akışkanın sıcaklığı ($T_{\text{sğk}}$) ile soğuk akışkanın sıcaklığı (T_{sck}) arasındaki fark olan $T_{\text{sck}} - T_{\text{sğk}}$ cinsinden incelenmiştir.

Hava kompresörü çalıştırılmış ve vorteks tüpe akışkan girişindeki vana yardımıyla deneylerde başlangıç basıncı olan 200 kPa'lık basınç sağlanmıştır. Yapılan basınç ayarlamasından sonra vorteks tüpünün sıcak ve soğuk akışkan çıkışına monte edilen ölçüm cihazlarında okunan sıcaklık değerleri sabit oluncaya kadar aynı basınçta hava kompresörden gönderilmiştir. Vorteks tüpe girişteki basınç, vorteks tüpünden çıkan

sıcak ve soğuk akışkanın sıcaklık değerleriyle birlikte hacimsel debileri de okunmuştur. Aynı basınç değerinde vorteks tüpünden çıkan sıcak akışkan tarafında bulunan vana yavaş yavaş kapatılarak soğuk ve sıcak akışkan sıcaklıkları termometrelerden okunmuştur.

Daha sonra 250 kPa olan basınç değerindeki deneye başlamadan önce vorteks tüpünün soğuk ve sıcak akışkan sıcaklığını ölçen dijital termometre ile ortam sıcaklığını ölçen dijital termometrelerin eşit sıcaklık değerine gelinceye kadar beklenmiş ve okunan değerler eşitlendikten sonra 250 kPa olan basınç değerindeki deney yapılmaya başlanmıştır. 300; 350; 400; 450; 500; 550 ve 600 kPa basınç değerleri için yapılan deneysel çalışmalarda, 200 kPa' basınçta yapılan işlemler tekrarlanmıştır. Vorteks tüpünde 200 kPa ve 600 kPa arasında basınçlı hava gönderilerek yapılan deneyler tamamlandıktan sonra basınçlı hava akışını sağlayan kompresör bağlantısı sistemden çıkarılarak deneyler tamamlanmıştır.



Şekil.4. Deneysel Sistem

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bir giriş ve bir çıkışlı sürekli akışlı açık sistemler için kütle korunumu,

$$\sum \dot{m}_{\text{gir}} = \sum \dot{m}_{\text{çkş}} \quad (1)$$

şeklinde yazılabilir. Eşitlik 1 vorteks tüpü için Eşitlik 2 şeklinde yazılabilir.

$$\dot{m}_{\text{çkş}} = \dot{m}_a + \dot{m}_b \quad (2)$$

eşitlikte ile ifade etmektedir. Vorteks tüpünde, soğuk akışkanın kütleli debisinin girişteki akışkanın kütleli debisine oranı y_c olarak tanımlanmış ve eşitlik 3 ile verilmiştir^[15].

$$y_c = \frac{\dot{m}_b}{\dot{m}_{\text{gir}}} \quad (3)$$

Vorteks tüplerde, sıcak akışkanın çıkış tarafında bulunan vananın açılıp kapanması ile y_c oranı değişmektedir. Yapılmış olan bu deneysel çalışmada, vorteks tüpün sıcak akışkan çıkışındaki vana tam açık konumda iken ilk deneye başlanmış ve yavaş yavaş kapatılarak 0.38 'den başlayarak 0.07 aralıklarla değiştirilerek 0.80 y_c oranlarında değişik basınçlarda deneyler yapılmıştır. Şekil 5'de havaya ait soğuk akışkan sıcaklığı ile giriş basıncının y_c göre değişim değerleri gösterilmiştir.

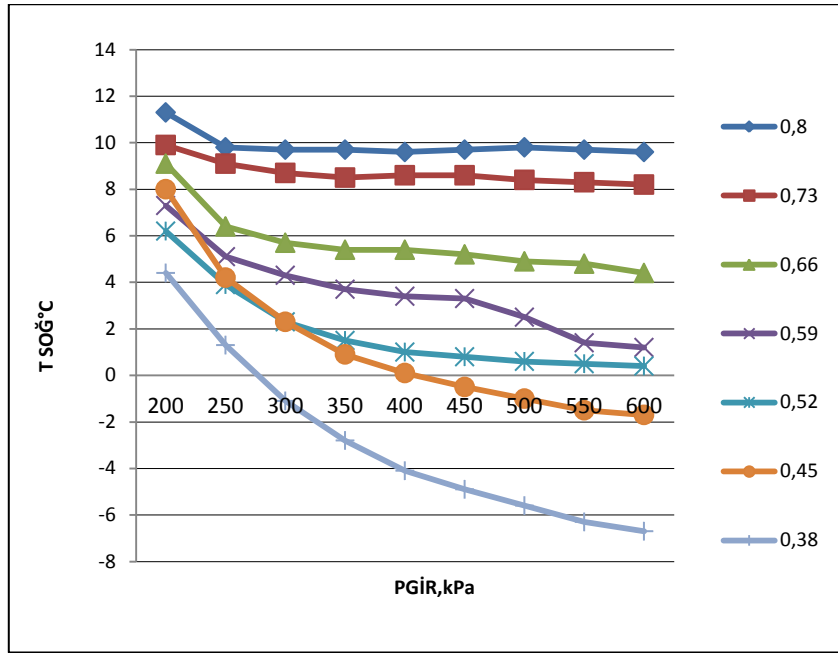
Vorteks tüpünün sıcak akışkan çıkış tarafındaki vana tam açık konumda y_c oranı 0,38 olmaktadır. Şekil 5'de görüldüğü gibi y_c oranının 0.38 – 0.80 değerleri arasında vorteks tüpüne giriş basıncı arttıkça ve y_c oranı azaldıkça

vorteks tüpünden çıkan soğuk akışkan sıcaklığı düşmektedir.

y_c oranı 0.38, giriş basıncı 200 kPa' da soğuk akışkan sıcaklığı 4,1 °C iken 600 kPa basıncında soğuk akışkan sıcaklığı -6.7 °C; y_c oranı 0.45, giriş basıncı 200 kPa'da soğuk akışkan sıcaklığı 8 °C iken 600 kPa basıncında soğuk akışkan sıcaklığı -1.7 °C; y_c oranı 0.52, giriş basıncı 200 kPa' da soğuk akışkan sıcaklığı 6.2 °C iken 600 kPa basıncında soğuk akışkan sıcaklığı 0.4 °C; y_c oranı 0.59, giriş basıncı 200 kPa' da soğuk akışkan sıcaklığı 7.3 °C iken 600 kPa basıncında soğuk akışkan sıcaklığı 1.2 °C; y_c oranı 0.66, giriş basıncı 200 kPa' da soğuk akışkan sıcaklığı 9.1 °C iken 600 kPa basıncında

soğuk akışkan sıcaklığı 1.4 °C; y_c oranı 0.73, giriş basıncı 200 kPa' da soğuk akışkan sıcaklığı 9.9 °C iken 600 kPa basıncında soğuk akışkan sıcaklığı 8.2 °C; y_c oranı 0.80, giriş basıncı 200 kPa' da soğuk akışkan sıcaklığı 11.3 °C iken 600 kPa basıncında soğuk akışkan sıcaklığı 9.6 °C' dir. Deneyler elde edilen en düşük soğuk akışkan sıcaklığı 0.38 y_c oranında 600 kPa basıncında -6.7 °C olarak ölçülmüştür.

Şekil 6'da vorteks tüpünde, girişteki basıncın 200 kPa'dan başlayarak 50 kPa aralıklarla 600 kPa'a kadar yükseltilerek çıkan sıcak akışkan sıcaklığının, y_c 'ye göre değişimi verilmiştir.

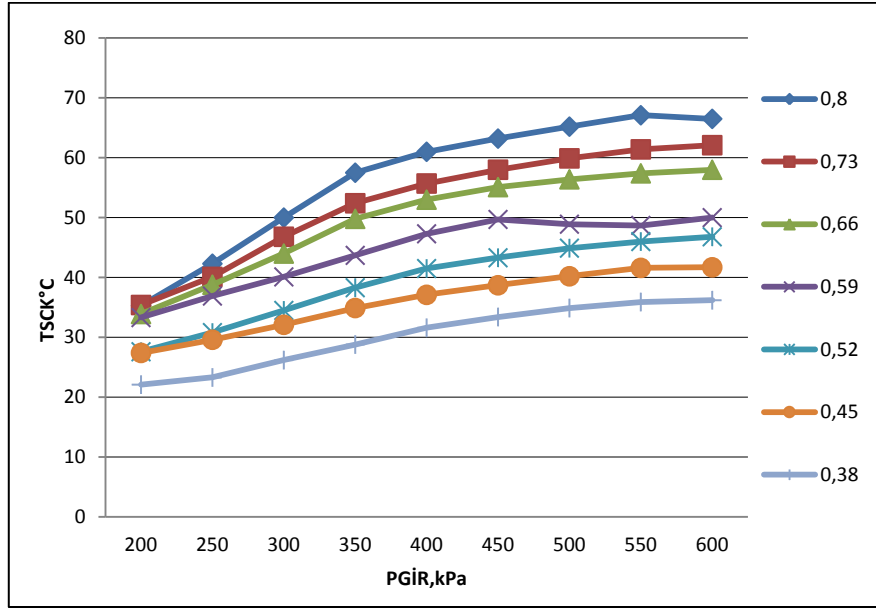


Şekil.5. Soğuk hava sıcaklığının ($T_{SÖĞ}$), giriş basıncı ($P_{GİR}$) ve y_c değerine göre değişimi

Şekil 6'da görüldüğü gibi y_c 0.38 ile 0.80 oranları arasında vorteks tüpüne giriş basıncı ve y_c oranı arttıkça, vorteks tüpünden çıkan sıcak akışkan sıcaklığı artmaktadır.

y_c oranı 0.38, giriş basıncı 200 kPa' da sıcak akışkan sıcaklığı 22.1 °C iken 600 kPa basıncında sıcak akışkan sıcaklığı 36.2 °C; y_c oranı 0.45, giriş basıncı 200 kPa'da sıcak akışkan sıcaklığı 27.4 °C iken 600 kPa basıncında sıcak akışkan sıcaklığı 41.7 °C; y_c oranı 0.52, giriş basıncı 200 kPa' da sıcak akışkan sıcaklığı 27.6 °C iken 600 kPa basıncında sıcak akışkan sıcaklığı 46.8 °C; y_c oranı 0.59, giriş basıncı 200 kPa' da sıcak akışkan

sıcaklığı 33.3 °C iken 600 kPa basıncında sıcak akışkan sıcaklığı 50 °C; y_c oranı 0.66, giriş basıncı 200 kPa' da sıcak akışkan sıcaklığı 33.9 °C iken 600 kPa basıncında sıcak akışkan sıcaklığı 58 °C; y_c oranı 0.73, giriş basıncı 200 kPa' da sıcak akışkan sıcaklığı 35.4 °C iken 600 kPa basıncında sıcak akışkan sıcaklığı 62.1 °C; y_c oranı 0.80, giriş basıncı 200 kPa' da sıcak akışkan sıcaklığı 35.3 °C iken 600 kPa basıncında sıcak akışkan sıcaklığı 66.5 °C' dir. Deneyler elde edilen en yüksek sıcak akışkan sıcaklığı 0.80 y_c oranında 600 kPa basıncında 66.5 °C olarak ölçülmüştür.



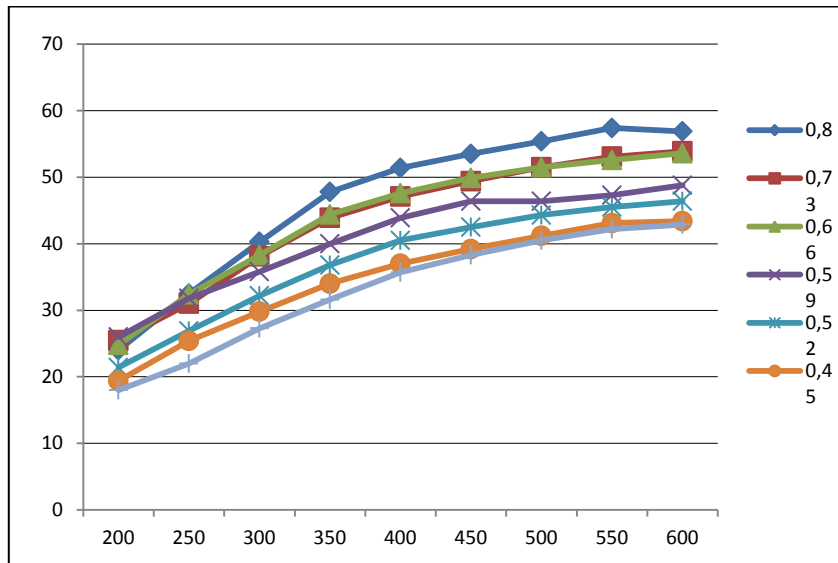
Şekil.6. Sıcak hava sıcaklığının (T_{SCK}), giriş basıncı ($P_{GİR}$) ve y_c değerine göre değişimi

Deneyel sistemin performansı, sıcak akışkanın sıcaklığı (T_{sck}) ile soğuk akışkanın sıcaklığı (T_{sgk}) arasındaki fark olan ΔT cinsinden ifade edilmiştir. Şekil 7'de vorteks tüpüne girişteki basıncın 200 kPa'dan başlayarak 50 kPa aralıklarla 600 kPa'a kadar yükseltildikçe vorteks tüpünden çıkan sıcak akışkan (T_{sck}) ile soğuk akışkan ($T_{soğ}$) sıcaklıklarının farkları (ΔT) cinsinden, y_c oranlarına göre değişimi verilmiştir.

Şekil 7'de görüldüğü gibi y_c 0.38 ile 0.80 arasında vorteks tüpüne giriş basıncı ve y_c oranı arttıkça, vorteks tüpünden çıkan sıcak akışkan sıcaklığı ile soğuk akışkan sıcaklığı arasındaki fark artmaktadır.

y_c 0.38 oranında giriş basıncı 200 kPa'da ΔT 18 °C iken 600 kPa basıncında ΔT 42.9 °C; y_c 0.45 oranında

giriş basıncı 200 kPa'da ΔT 19.4 °C iken 600 kPa basıncında ΔT 43.4 °C; y_c 0.52 oranında giriş basıncı 200 kPa'da ΔT 21.4 °C iken 600 kPa basıncında ΔT 46.4 °C; y_c 0.59 oranında giriş basıncı 200 kPa'da ΔT 26 °C iken 600 kPa basıncında ΔT 48.8 °C; y_c 0.66 oranında giriş basıncı 200 kPa'da ΔT 24.8 °C iken 600 kPa basıncında ΔT 53.6 °C; y_c 0.73 oranında giriş basıncı 200 kPa'da ΔT 25.5 °C iken 600 kPa basıncında ΔT 53.9 °C; y_c 0.80 oranında giriş basıncı 200 kPa'da ΔT 24 °C iken 600 kPa basıncında ΔT 59.9 °C'dır. Deneyler elde edilen en yüksek ΔT farkı 0.80 y_c oranında 600 kPa basıncında 59.9 °C olarak tespit edilmiştir.



Şekil.7. $T_{SCK} - T_{SGK}$ (ΔT) farkının, giriş basıncı ($P_{GİR}$) ve y_c değerine göre değişimi

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Vorteks tüpü girişindeki hava basıncı, 200 kPa'dan başlayarak 50 kPa aralıklarla 600 kPa'a kadar değiştirilmiştir. Vorteks tüpünde, soğuk akışkanın kütle debisinin girişteki akışkanın kütle debisine oranı olarak tanımlanan y_c 0.38 oranından başlayarak 0.07 aralıklarla 0.80'e kadar değiştirilerek tüm basınç değerlerine göre çıkan soğuk ve sıcak akışkan sıcaklıklarının performansları deneysel olarak incelenmiştir.

$y_c=0.80$ hariç, bütün y_c değerleri için basınç değeri artırıldığı zaman, $T_{soğ}$ değerinin azaldığı görülmüştür. En düşük $T_{soğ}$ değeri, $y_c=0.38$ ve $P_{gir}=600$ kPa basınç değerinde $-6,7$ °C olarak ölçülmüştür.

Bütün y_c değerleri için basınç değeri artırıldığı zaman, T_{sck} değerinin arttığı görülmüştür. En yüksek T_{sck} değeri, $y_c=0.80$ ve $P_{gir}=600$ kPa basınç değerinde $66,5$ °C olarak ölçülmüştür.

Bütün y_c değerleri için basınç değeri artırıldığı zaman, sıcak çıkıştaki akışkanın sıcaklığı ile soğuk çıkıştaki akışkanın sıcaklığı arasındaki farkın (ΔT) arttığı görülmüştür. En yüksek ΔT değeri, $y_c=0.80$ ve $P_{gir}=600$ kPa basınç değerinde $56,9$ °C olarak ölçülmüştür.

RHVT deneysel çalışma verileri birlikte değerlendirildiğinde, vorteks tüpün performansının yüksek çıkması için, giriş basıncının yüksek tutulması sağlanmalıdır.

Ayrıca yapılan bu çalışmanın farklı nozul sayıları, jenaratör malzemeleri ve nozul geometrileri için yapılabileceği önerilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Kırmacı, V., Vorteks tüpünde akışkan olarak kullanılan hava, oksijen, karbondioksit, karışım gazının soğutma-ısıtma sıcaklık performanslarının deneysel olarak incelenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, (7) 2, 2007.
2. Özkul, N., Uygulamalı soğutma tekniği. Makina Mühendisleri Odası, Yayın No:115, Ankara, 24-25s., 1999.
3. Yılmaz, M., Çomaklı, Ö., Kay, M., Karalı, S., Vorteks tüpler-1: teknolojik gelişim, Mühendis ve Makine, 47, 554, s. 42-51, 2006.
4. Althouse, A. D., Turnquist, C. H., Bracciano, A. F., modern refrigeration and air conditioning, The Goodheart-Willcox Company Inc., South Holland, pp. 633, 1979.

5. Balmer, R., Pressure driven ranque-hilsch temperature separation in liquids, Journal of Fluids Engineering-Trans. of Asme, 110, 2, pp.161164, 1988.
6. Özgür, A., E., Selbaş, R., Üçgül, İ., Vorteks tüpler ile soğutma uygulamaları, V. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 387-397 s., 2001.
7. Özgür, A. E., Vorteks tüplerin çalışma kriterlerine etki eden faktörlerin ve endüstrideki kullanım alanlarının tespiti, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bil. Enst., Isparta, 70 s., 2001.
8. Usta, H., Dincer, K., Kırmacı, V., Vorteks tüpünde akışkan olarak kullanılan hava ile oksijenin soğutma sıcaklık performanslarının deneysel incelenmesi, Teknoloji, 7, 3, 415-425 s., 2004.
9. Fröhlingsdorf, W., Unger, H., Numerical investigations of compressible flow and the energy separation in the ranque-hilsch vortex tube. int. International Journal of Heat and Mass Transfer, 42, pp. 415-422, 1999.
10. Yılmaz, M., Çomaklı, Ö., Özyurt, Ö., Erdoğan, S., Bakırcı, K., Kaya, M., Karagöz, Ş., Vorteks tüplerin soğutma Tekniğinde Kullanılması, 05M028 Numaralı TÜBİTAK Projesi, Ankara, 2007.
11. Dinçer, K., Üçgül, İ., Başkaya, Ş., Sivrioğlu M., Uysal B. Z., 2005, Bulanık mantık yöntemiyle vorteks tüp performansının incelenmesi, ULIBTK'05, 15. Ulusal Isı Bilim ve Tekniği Kongresi, 608-613 s., 7-9 Eylül 2005, Trabzon.
12. Kırmacı, V., Altı nozullu vorteks tüpünün soğutma-ısıtma sıcaklık performanslarının deneysel olarak incelenmesi, Politeknik Dergisi, Cilt:10 Sayı : 4 377-381 s., 2007.
13. Coccerill T., Thermodynamics and fluid mechanics of a ranque hilsch vortex tube, MSc Thesis, University of Cambridge, 1998.
14. Usta, H., Kırmacı V., Dincer K., Vorteks tüpünde akışkan olarak kullanılan hava ile azot gazının soğutma sıcaklık performanslarının deneysel incelenmesi, BAÜ Fen Bil. Enst. Dergisi, Cilt 6, Sayı 2, 67-76 s., 2004.
15. Stephan K., Lin S., Durst M., Huang F., Seher D., An investigation of energy separation in a vortex tube, Journal of Heat Mass Transfer, 26 (3): pp. 344-348, 1998.