

ANİ TABAN DÜŞÜLERİNDE OLUŞAN DALGA TİPİ AKIMLARIN GEOMETRİK ÖZELLİKLERİNE İSTATİSTİKSEL YAKLAŞIM

Nihat EROĞLU*, **Nuray TOKYAY****

*Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06570 Maltepe/ANKARA

**Ortadoğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06531 İnönü Bulvarı/ANKARA

enihat@gazi.edu.tr, ndenli@metu.edu.tr

(Geliş/Received: 26.03.2012; Kabul/Accepted: 12.07.2012)

ÖZET

Genişliği sabit ve tabanında ani düşü olan dikdörtgen kesitli bir kanalda hidrolik sıçrama, akım şartlarına bağlı olarak hem A-tipi hidrolik sıçrama hem de B-tipi hidrolik sıçrama şeklinde oluşabilmektedir. Yine akım şartlarına bağlı olarak bu iki akım tipi arasında Dalga-tipi akımlar da oluşabilmektedir. Düşü havuzlarının projelendirilmesinde bu akım tiplerinin hepsinin düşü havuzu içinde kalabilmesi için düşü havuzunun eni, boyu ve yüksekliği bilinmesi gereken önemli parametrelerdir. Düşü havuzlarının boyutlandırılmasında içinde, oluşan akım şartları kadar bu akımların geometrik özellikleri de önemlidir. Bu çalışmada Dalga-tipi akım ve geometrik özellikleri deneysel olarak çalışılmış ve sonuçlar literatürde mevcut olan verilerle karşılaştırmalı olarak verilmiştir. İnceleme neticesinde Dalga-tipi akımın geometrik özelliklerini veren basit modeller geliştirilmiştir. Literatürdeki modellere göre daha basit ve anlaşılabilir özelliklere sahip olan bu modeller ölçümleri tahminde de oldukça iyidirler.

Anahtar kelimeler: Hidrolik sıçrama, Düşü, Dalga-tipi akım, Dalga yüksekliği, Enerji kırıcı havuz

STATISTICAL APPROACH TO GEOMETRIC PROPERTIES OF WAVE-TYPE FLOW OCCURRING AT AN ABRUPT DROP

ABSTRACT

Depending on the flow conditions, the hydraulic jump may occur in the form of both A-jump and B-jump in a rectangular channel with an abrupt drop and constant width. Also depending on this flow condition, "Wave-type flows" may occur between these two flow types. Because, all of these flow types should occur and remain within the stilling basin. The length, height and width of the stilling basin are an important parameter, that should be known in designing of stilling basins. For sizing of stilling basins, flow geometries are as important as these flow conditions. In the present study; the "Wave-type flow" and its geometric properties are experimentally investigated and the results are compared with the available data. In conjunction with the test results; the simple empirical expressions that predict the geometric properties of the maximum Wave-type flow are developed. These empirical expression with the simplest and comprehensible form predict the results better than available empirical expressions.

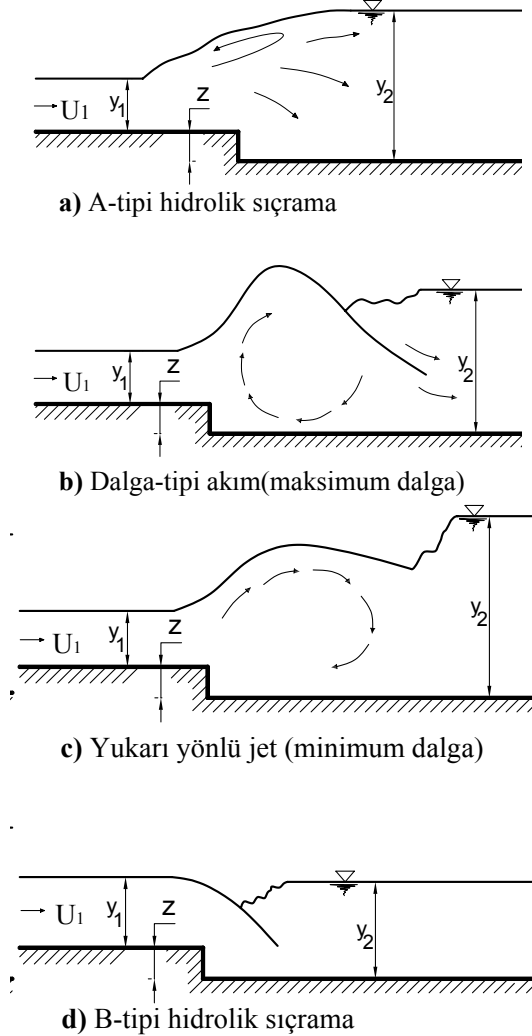
Key words: Hydraulic jump, Abrupt drop, Wave-type flow, Wave height, Stilling basin.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Enerji sönmüleyicilerin ve düşü havuzlarının dizaynında mühendislik açısından en önemli nokta: hidrolik sıçramanın muhtemel kuyruksuyu derinliklerinin hepsinde oluşması ve düşü havuzundaki konumunun değişmeden kalmasıdır. Ani

taban yükselmesi, ani taban düşüsü ve eşikler kullanarak hidrolik sıçramanın düşü havuzu içerisinde kalmasını sağlamak uygulamada oldukça yaygındır. Ani taban düşüsü, kuyruksuyu derinliğinin hidrolik sıçramanın konjuge derinliğinden büyük olduğu durumlarda boğulmuş hidrolik sıçrama oluşumunu engellemek için sık tercih edilen bir yöntemdir. Ani

taban düşüleri kullanıldığında; hidrolik sıçrama, yaklaşım kanalı Froude Sayısına, kuyruksuyu derinliğine ve eşik yüksekliğine göre hem A-tipi hidrolik sıçrama hem de B-tipi hidrolik sıçrama şeklinde oluşabilir. Ancak, deneyler bu iki akım tipi arasında “Dalga-tipi akım (maksimum dalga)” ve “yukarı yönlü jet (minimum dalga)” diye adlandırılabilir akım tiplerinin de var olduğunu göstermiştir [1-10].



Şekil 1. Ani Taban Düşülerindeki Ana Akım Tipleri (Main Flow Type at an Abrupt Bottom Drop)

Bazı araştırmacılar ani taban düşülerinde oluşan akım tiplerine farklı isimler vermiş ve bu akımlar arasında başka alt akım tipleri tariflemişlerse de genelde ana akım tipleri Şekil 1’de görüldüğü gibidir.

Ani taban düşülerinde oluşan Dalga-tipi akım, hidrolik sıçrama gibi, ani değişen akım görünümünde olup akım sel rejiminden nehir rejimine geçmektedir. Bu özelliklerinden dolayı da hidrolik sıçramaya benzemektedir. Ancak, gerçekte Dalga-tipi akım, altında oluşan ayrılma çevrintisinin ve düşünün üstünden geçen sel rejiminde bir yüzey jetidir. Duran bir dalgaya benzediği için de “Dalga” diye adlandırılmıştır. A-tipi hidrolik sıçramayla B-tipi

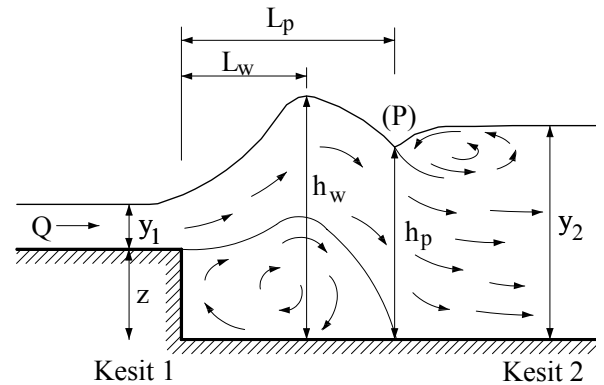
hidrolik sıçrama arasında geometrisi farklı birçok Dalga formu mevcuttur (Şekil 1b ve 1c). Ancak, bunların içinde en büyük dalga yüksekliğini ve dolayısıyla en büyük dalga geometrisini veren “Maksimum dalga”dır (Şekil 1b). “Maksimum dalga”, kendi kuyruksuyu derinliğinden daha büyük su derinliklerine yol açan bir akım olması nedeniyle, oluşma şartları yanında geometrik özellikleri de bilinmesi gereken bir akım türüdür.

Önceki çalışmalar genellikle ani taban düşülerindeki akım tiplerinin oluşum şartlarını, bu şartlara etki eden parametreleri ve akım tipleri arasındaki geçiş sınırlarını belirlemeye yöneliktir [1-9,11]. Literatürde Dalga geometrisi üzerine yapılmış araştırma yok denecek kadar azdır. Ani taban düşülerinde oluşan Dalga-tipi akım ve geometrisi üzerine yapılmış olan en detaylı çalışma Kawagoshi ve Hager [2]’in çalışmasıdır. Kawagoshi ve Hager [2] araştırmalarında dalga yüksekliği, dalga profili, dalgadan sonra oluşan yüzeysel döngü, sıçramanın uzunluğu ve tabandaki ayrılma noktasının boyuna değişimini incelemişlerdir. Çalışmalarında Dalga-tipi akımın geometrik özelliklerini, biri boyutsuz diğeri boyutlu iki parametreye bağlı olarak tariflemişlerdir. Bu parametrelerden boyutsuz olanı Rajaratnam ve Ortiz [3] tarafından tarif edilen “düşü Froude sayısı” (F_d)’dır ve aşağıdaki gibidir.

$$F_d = \frac{U_1}{(g(y_2 - z))^{1/2}} = \left(\left(\frac{y_1}{y_2 - z} \right)^{1/2} F_{r1} \right) \quad (1)$$

Burada; F_{r1} : Kesit 1 deki Froude sayısı, U_1 : Kesit 1 deki ortalama akım hızı, y_1 : Kesit 1 deki akım derinliği, y_2 : Kesit 2 deki akım derinliği, z : eşik yüksekliği ve g : yerçekim ivmesidir (Şekil 2). Diğer parametre ise boyutlu olan ve Kawagoshi ve Hager [2] tarafından modifiye edilen ve bir çeşit “yaklaşım akımı dinamik yükü” (f)’dür ve aşağıdaki gibidir.

$$f = \frac{U_1^2}{2g} \frac{y_2}{y_1} = \left(\left(\frac{y_2}{2} \right) F_{r1}^2 \right) \quad (2)$$



Şekil 2. Şematik Dalga Geometrisi (Schematic Geometry of the Wave)

Kawagoshi ve Hager [2] deneylerden elde ettikleri geometrik büyüklükleri f parametresiyle boyutsuz hale getirip F_d parametresiyle değişimini incelemişler ve Dalga-tipi akımın geometrisini tahmin için aşağıdaki modelleri önermişlerdir.

$$\frac{h_w}{\left(\left(\frac{y_2}{2}\right)_{Fr1}\right)} = 1,70 \left(\left(\frac{y_1}{y_2 - z} \right)^{1/2} Fr_1 \right)^{-3,6} \quad (3)$$

$$\frac{L_w}{\left(\left(\frac{y_2}{2}\right)_{Fr1}\right)} = 1,75 \left(\left(\frac{y_1}{y_2 - z} \right)^{1/2} Fr_1 \right)^{-3,6} \quad (4)$$

$$\frac{h_p}{\left(\left(\frac{y_2}{2}\right)_{Fr1}\right)} = 1,00 \left(\left(\frac{y_1}{y_2 - z} \right)^{1/2} Fr_1 \right)^{-3,6} \quad (5)$$

$$\frac{L_p}{\left(\left(\frac{y_2}{2}\right)_{Fr1}\right)} = 2,90 \left(\left(\frac{y_1}{y_2 - z} \right)^{1/2} Fr_1 \right)^{-3,6} \quad (6)$$

Burada h_w :maksimum dalga yüksekliği, L_w :maksimum dalga yüksekliğinin olduğu yerle eşik arasındaki mesafe, h_p :dalma noktasının yüksekliği ve L_p :dalma noktasının olduğu yerle eşik arasındaki mesafedir (Şekil 2).

Literatürde ani taban düşülerinde oluşan akımlarla ilgili yapılan en son çalışma Mossa ve arkadaşları [8] tarafından yapılmıştır. Çalışmalarında ani taban düşülerinde oluşması muhtemel tüm akım tiplerinin oluşma şartlarını incelemişlerdir. Ayrıca düşü havuzlarında doğru ve güvenilir işletim yapabilmek için kullanılabilir tasarım grafikleri önermişlerdir. Önerdikleri tasarım grafiklerinde yaklaşım akımı derinliğini, kuyruksuyu derinliğini, eşik yükseliğini ve yaklaşım akımı Froude sayısını ve bunların değişimini dikkate almışlardır. Ancak sel rejimindeki yaklaşım akımı derinliğini ölçtükleri yerin farklı akım tiplerinde farklı olması ve yaklaşım akımı akım ipçiklerindeki eğriliği dikkate almamaları Yasuda ve arkadaşları [11] tarafından eleştirilmiştir.

Literatürde birçok modelleme, tahmin yöntemine ve SPSS gibi istatistik paket programı kullanımına rastlamak mümkündür [12,13,14]. Bu çalışmada da modelleme için istatistiksel yaklaşımlar ve SPSS istatistik programı kullanılmıştır. Dalga-tipi akımlar üzerinde etkin olan parametreleri tespit etmek için Buckingham-Π teoremi uygulanmış, modelleme için kullanılacak Dalga-tipi akımın geometrik özellikleri içinse deneyler yapılmıştır. Modelleri oluşturabilmek için literatürdeki mevcut veriler bu çalışmadan elde

edilen verilerle birlikte kullanılmış, öncelikle verilerin normal dağılıma uyup uymadığına bakılmış, uymayanlara veri dönüştürme yapılarak normal dağılıma uygunluğu sağlanmış, daha sonra ise Çoklu Regresyon Analizi ve “stepwise” metodu kullanılarak Dalga-tipi akımların geometrik özelliklerini verecek matematik modeller elde edilmiştir. Sonuçlar her bir geometrik özellik için ayrı ayrı verilip modellerin ölçümleri ne kadar temsil ettiği incelenmiştir. Ayrıca Kawagoshi ve Hager [2]’in tarif ettikleri modellerle kıyaslamaları yapılmıştır. İnceleme neticesinde, bu çalışmada önerilen modellerin daha sade olduğu, daha anlaşılabilir ve anlamlı boyutsuz büyüklüklerden oluştuğu ve ölçümleri daha iyi temsil ettiği sonucuna ulaşılmıştır.

2. DENEY DÜZENİĞİ VE YÖNTEM (EXPERIMENTAL SETUP AND PROCEDURE)

Deneyler 1050 cm uzunluğunda, 25 cm genişliğinde ve 50 cm derinliğinde yatay dikdörtgen açık kanalda yapıldı. Memba ve mansap su derinliklerini kontrol etmek için birisi kanal sonundaki serbest düşünün üstüne yerleştirilmiş (mansap kapağı) diğeri kanal girişinden 360 cm membaya yerleştirilmiş (membra kapağı) olan iki adet ayarlanabilir kapak mevcuttur. Kanalda ani taban düşüsünü oluşturmak için kanalla aynı genişliğe sahip betonarme plaklar kullanıldı. Farklı eşik yüksekliklerini oluşturabilmek için 3,1 cm ve 4,2 cm yüksekliğinde hazırlanan bu plaklar 200 cm boyunda olup 105cm’si memba kapağının menbasında, 95cm’si ise mansabında yer alacak şekilde memba kapağı altına yerleştirildi. Debi ölçümünde kanal çıkışından sonraya konulmuş bulunan dönüş kanalına yerleştirilen 30° açılı üçgen savak kullanıldı. Kanaldan geçirilebilen debiler 3,25 l/s ile 23,5 l/s aralığındadır ve akım kanalda devir-daim ettirilmektedir. Su derinlikleri ve savak yükleri iğne uçlu limnometre kullanılarak ölçülmüştür. Dalganın uzunluğunu ve yüksekliğini ölçmek için kanalın fiberglass olan yan yüzeylerine ölçekli bantlar yapıştırılmış ve ayrıca iğne uçlu limnometreler kullanılmıştır[10].

Seçilen bir debi için deney şu şekilde yapılmıştır: Deney kanalında sabit bir debi devir daim ettirilirken; Dalga-tipi akımı oluşturmak amacıyla, memba kapağı sel rejiminde akım oluşturacak kadar kısmen kapatılmıştır. Oluşturulan sel rejimi akımdan faydalanarak memba kapağı önünde boğulmuş bir hidrolik sıçrama oluşturmak için mansap kapağı da kısmen kapatılarak mansap su seviyesi yükseltilmiş ve boğulmuş hidrolik sıçrama oluşturulmuştur. Sonra mansap kapağı kademeli olarak açılarak mansap su seviyesinin düşmesi sağlanmış ve A-tipi hidrolik sıçrama sağlanıncaya kadar bu işleme devam edilmiştir. A-tipi hidrolik sıçrama oluşturulduktan sonra mansap su seviyesi düşürülmeye devam edilerek hidrolik sıçrama mansaba doğru ötelenmiştir. Akım, mansap su seviyesinin belirli bir derinliğine kadar A-tipi hidrolik sıçrama özellikleri göstermiştir.

Ancak, bu derinlikten sonra akım Dalga formuna dönüşmüş ve “Maksimum Dalga” dediğimiz (en büyük dalga yüksekliğine sahip) formu oluşturmuştur. Bu andaki akım şartları ve dalga karakteristikleri iğne uçlu limnometreler ve ölçekli bantlar vasıtasıyla ölçülerek kaydedilmiştir. Mansap su seviyesi düşürülmeye devam edilmiş ve sırasıyla Şekil 1’de görülen diğer akım tipleri oluşturulmuştur. Deneyler boyunca yapılan ”mansap su seviyesi düşürme” işleminde oluşan her yeni su derinliği için akımın zamandan bağımsız duruma geçmesi için bir müddet beklenilmiştir.

Deneyler süresince ani taban düşülerinde oluşan akım tipleri gözlemlenmiş ve en büyük geometriye sahip olan 41 adet Maksimum Dalga gözlemi yapılmıştır. Bu gözlemler sırasında Maksimum Dalga’nın oluşum şartları ve geometrik özellikleri (h_w, L_w, h_p, L_p) kaydedilmiştir. Bu deneylerdeki Froude sayısı aralığı $2,14 < F_{r1} < 7,89$ şeklindedir.

3. BOYUTSUZ PARAMETRELERİN TESPİTİ (DETERMINATION OF DIMENSIONLESS PARAMETER)

Dalga-tipi akımların oluşumunda dolayısıyla geometrisinin şekillenmesinde etkili olduğu bilinen parametreler Şekil 2’deki notasyon dikkate alınarak,

$$f_1(h_w, B, U_1, y_1, y_2, z, g, \rho, \mu, t) = 0 \quad (7)$$

şeklinde yazılabilir. Burada h_w : maksimum dalga yüksekliği, B : kanal genişliği, U_1 : Kesit 1’deki ortalama akım hızı, y_1 : Kesit 1’deki akım derinliği, y_2 : Kesit 2’deki akım derinliği, z : eşik yüksekliği, g : yerçekim ivmesi, ρ : akışkanın özgül kütlesi, μ : akışkanın dinamik viskozitesi ve t : zamandır. Kanal genişliği sabit olduğundan ve zamana bağlı değişim söz konusu olmadığından ifade,

$$f_2(h_w, U_1, y_1, y_2, z, g, \rho, \mu) = 0 \quad (8)$$

şeklini almaktadır. Şayet U_1, y_1 ve ρ tekrar eden değişkenler olarak seçilip Buckingham-İ teoremi uygulanırsa ilgili boyutsuz parametreler,

$$f_3\left(\frac{h_w}{y_1}, \frac{y_2}{y_1}, \frac{z}{y_1}, F_{r1}, R_e\right) = 0 \quad (9)$$

şeklinde bulunur. Burada h_w/y_1 : göreceli dalga yüksekliği, $Y = y_2/y_1$: göreceli kuyruksuyu derinliği, $S = z/y_1$: göreceli eşik yüksekliği, F_{r1} : giriş akımı Froude sayısı, R_e : Reynolds sayısıdır. Akım ani değişen bir açık kanal akımı olduğundan ve viskoz kuvvetler, yerçekimi kuvvetleri yanında ihmal edilebilir olduğundan ifade,

$$f_4\left(\frac{h_w}{y_1}, Y, S, F_{r1}\right) = 0 \quad (10)$$

şeklinde yazılabilir. Aynı ifade genelleştirilerek diğer geometrik özellikler için de

$$\frac{h_w}{y_1}, \frac{L_w}{y_1}, \frac{h_p}{y_1}, \frac{L_p}{y_1} = f_5(Y, S, F_{r1}) \quad (11)$$

şeklinde yazılabilir. Burada L_w/y_1 : dalga yüksekliğinin eşik ucundan olan göreceli uzaklığını, h_p/y_1 : yüzey jetinin mansap akımına daldığı noktasının tabana göre göreceli yüksekliğini, L_p/y_1 : yüzey jetinin mansap akımına daldığı noktanın eşik ucundan olan göreceli uzaklığını temsil etmektedir (bakınız Şekil 2).

4. MODELLERİN DOĞRULUĞU VE HATA ANALİZİ (ACCURACY OF MODELS AND ERROR ANALYSIS)

Bu çalışmada önerilen model ile Kawagoshi ve Hager [2]’in önerdiği modeli kıyaslarken dikkate alınan parametrelerden birisi Eşitlik 12’de verilen R^2 belirleme katsayısıdır. İyi bir modelde değerinin 1’e yakın olması beklenir.

$$R^2 = \left(\frac{\sum(\Delta X_{\bar{o}}) \cdot (\Delta X_t)}{\sqrt{\sum(\Delta X_{\bar{o}})^2 \cdot \sum(\Delta X_t)^2}} \right)^2 \quad (12)$$

Burada $\Delta X_{\bar{o}} = X_{\bar{o}ölçüm} - \bar{X}_{\bar{o}ölçüm}$, $X_{\bar{o}ölçüm}$: ölçümle bulunan değeri, $\bar{X}_{\bar{o}ölçüm}$: ölçümlerin ortalama değerlerini, $\Delta X_t = X_{tah\ min} - \bar{X}_{tah\ min}$, $X_{tah\ min}$: modelden tahmin edilen değeri $\bar{X}_{tah\ min}$: tahminlerin ortalama değerini göstermektedir. Kıyaslamada kullanılan diğer parametrelerse Eşitlik 13 ve 14’de verilen ve hata analizinde kullanılan MAE (Mean Absolute Error) ortalama mutlak hata ve MAPE (Mean Absolute Percentace Error) ortalama mutlak yüzde (relatif) hata değerleridir. İyi bir modelde MAE ve MAPE’nin 0 (sıfır)’a yakın olması beklenir.

$$MAE = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n |X_{\bar{o}ölçüm} - X_{tah\ min}| \quad (13)$$

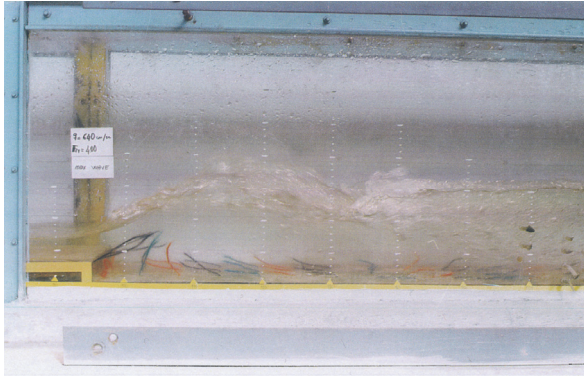
$$MAPE = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{|X_{\bar{o}ölçüm} - X_{tah\ min}|}{X_{\bar{o}ölçüm}} \cdot 100 \quad (14)$$

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND CONCLUSIONS)

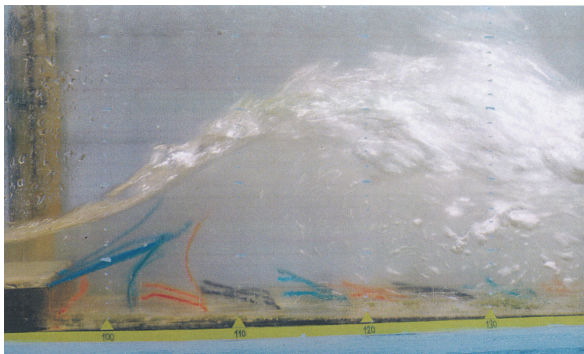
Deneysel olarak yapılan gözlemler Dalga-tipi akım'ın A- ve B-tipi hidrolik sıçramaların arasında oluşan bir akım olduğunu doğrulamaktadır. A-tipi hidrolik sıçramanın hemen arkasından oluşan ve literatürde "Maksimum Dalga" diye geçen akım Şekil 3 ve 4'de görüldüğü gibidir.

Bu dalga formunun en belirgin özelliği, dalga altında oluşan çevrinti (vorteks)'dir. Bu çevrinti, Şekil 4'den de görüleceği gibi, dalganın altında hapsedilmiş durumdadır, dönüş aksı kanal genişliğine paraleldir ve saat yönünde dönmektedir. Dalga-tipi akım bu çevrintinin ve eşğin üstünden geçen sel rejiminde bir yüzey jeti görünümündedir. Tipik maksimum dalga profili farklı F_{r1} değerleri için Şekil 5'teki gibidir.

Bu şekilden F_{r1} değeri arttıkça dalga geometrisiyle ilgili büyüklüklerin ve kuyruksuyu derinliğinin de arttığı ve maksimum dalga yüksekliğinin her zaman kendi kuyruksuyu derinliğinden daha büyük olduğu açıkça görülmektedir.



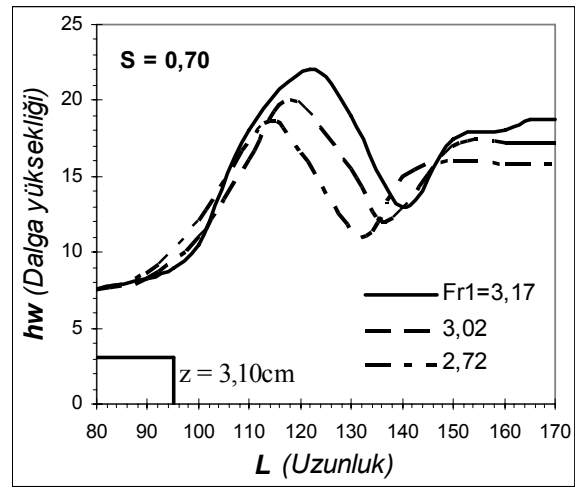
Şekil 3. $F_{r1} = 4$ için Maksimum Dalga (Maximum Wave for $F_{r1} = 4$)



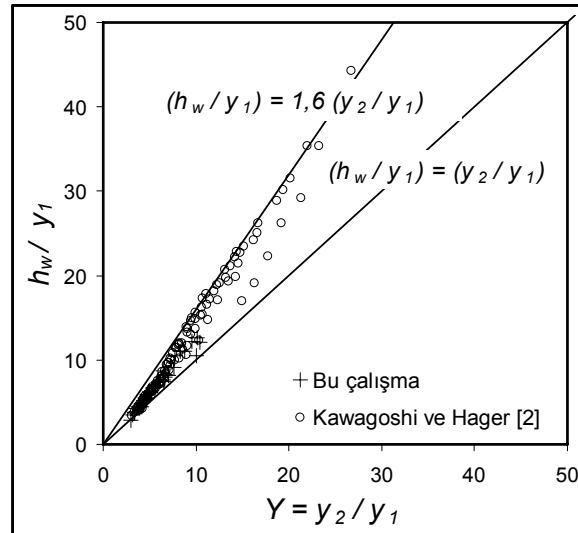
Şekil 4. Dalganın altında oluşan çevrinti (Vortex Occurring Beneath the Wave)

Şekil 6'daki grafik göreceli kuyruksuyu derinliği (Y) ile göreceli maksimum dalga yüksekliği (h_w/y_1) arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Bu çalışmadan ve Kawagoshi ve Hager [2]'in çalışmasından elde edilen veriler $h_w/y_1 \leq 1,6 Y$ gibi ilişkiyi işaret etmektedir

ve "1,6 Y" değeri dalga yüksekliği için bir üst sınır gibi gözükmektedir. Dalga geometrisini tahmin edecek modelleri S , Y ve F_{r1} bağımsız ve boyutsuz değişkenleri cinsinden ifade etmek için SPSS istatistik paket programı kullanılmıştır. Çoklu Regresyon Analizi yapılırken "stepwise" metodu seçilmiş olmasından dolayı program her bir bağımsız değişkenin bağımlı değişkeni ifade etme yeteneğini ayrı ayrı, ikili gruplar ve üçlü gruplar şeklinde deneyerek en iyi temsil yeteneğine sahip grubu seçmekte ve modeli oluşturmaktadır. Modellerin oluşturulabilmesi için bu çalışmadan ve Kawagoshi ve Hager [2]'in çalışmasından elde edilen veriler beraberce kullanılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.



Şekil 5. $S=0,70$ ve Farklı Froude Sayıları için Maksimum Dalganın Profili (Profile of Maximum Wave for $S=0,70$ and Different Froude Number)



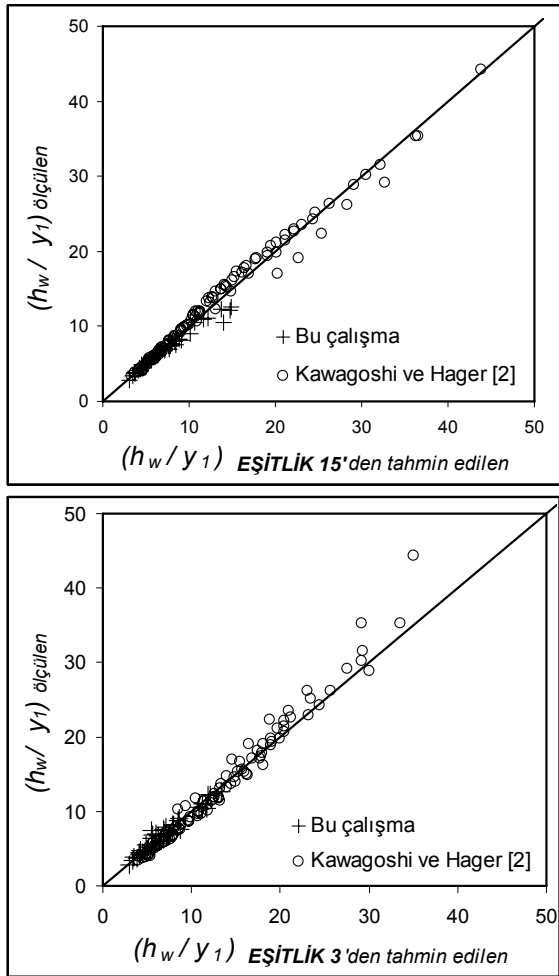
Şekil 6. h_w/y_1 in Y ile değişimi (Variation of h_w/y_1 with Y)

5.1. Maksimum Dalga Yüksekliği (Maximum Wave Height)

Göreceli maksimum dalga yüksekliği (h_w/y_1) için elde edilen model

$$\frac{h_w}{y_1} = 0,68077 \cdot Y^{1,374} \cdot S^{-0,133} \quad (15)$$

şeklinde. Bu modelin ve Kawagoshi ve Hager'in [2] önerdiği Eşitlik 3'deki modelinin ölçülen değerleri ne kadar yansıttığını görmek için Şekil 7'deki grafikler çizilmiştir. Şekil 7'de kıyaslamaları yapılan modellerin belirleme katsayısı ve hata değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Eşitlik 15'de önerilen yeni



Şekil 7. h_w/y_1 için önerilen modeller (proposed models for h_w/y_1)

Tablo 1. h_w/y_1 için hata analizi (Error analysis for h_w/y_1)

h_w/y_1	Bu çalışmada önerilen model (Eşitlik 15)	Kawagoshi ve Hager[2]'in Önerdiği model (Eşitlik 3)
R^2	0,985	0,975
MAPE (%)	5,125	8,865
MAE (cm)	0,106	0,155

model yüksek R^2 ve düşük hata değerleriyle Eşitlik 3'e göre Maksimum Dalga Yüksekliği daha iyi tahmin eden bir modeldir.

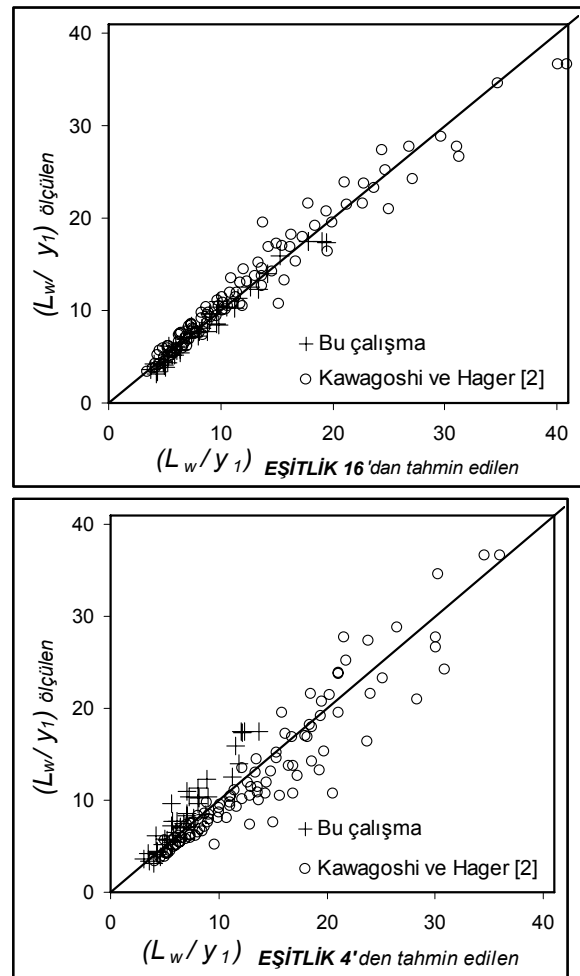
5.2. Maksimum Dalganın Yeri (Location of Maximum Wave)

Maksimum dalga yüksekliğinin eşikten olan göreceli uzaklığı (L_w/y_1) için elde edilen model

$$\frac{L_w}{y_1} = 1,524053 \cdot F_{r1}^{1,202} \cdot S^{0,058} \quad (16)$$

şeklinde. Eşitlik 16 ve Eşitlik 4'de önerilen modellerin ölçülenleri ne kadar temsil ettiğini görmek için Şekil 8'deki grafikler çizilmiştir.

Şekil 8'deki dataların dağılımı bu çalışmada önerilen Eşitlik 16'nın daha iyi olduğunu göstermektedir. Maksimum dalganın oluştuğu yeri tahmininde kullanılan modellerin belirleme katsayısı ve hata değerleri ise Tablo 2'deki gibidir. Tablo 2'de görüleceği gibi Eşitlik 16'da önerilen yeni model Eşitlik 4'deki modele göre oldukça yüksek R^2 değerine sahiptir ve düşük hata değerleriyle de Eşitlik 4'e göre daha iyi bir modeldir.



Şekil 8. L_w/y_1 için önerilen modeller (proposed models for L_w/y_1)

Tablo 2. L_w/y_1 için hata analizi (Error analysis for L_w/y_1)

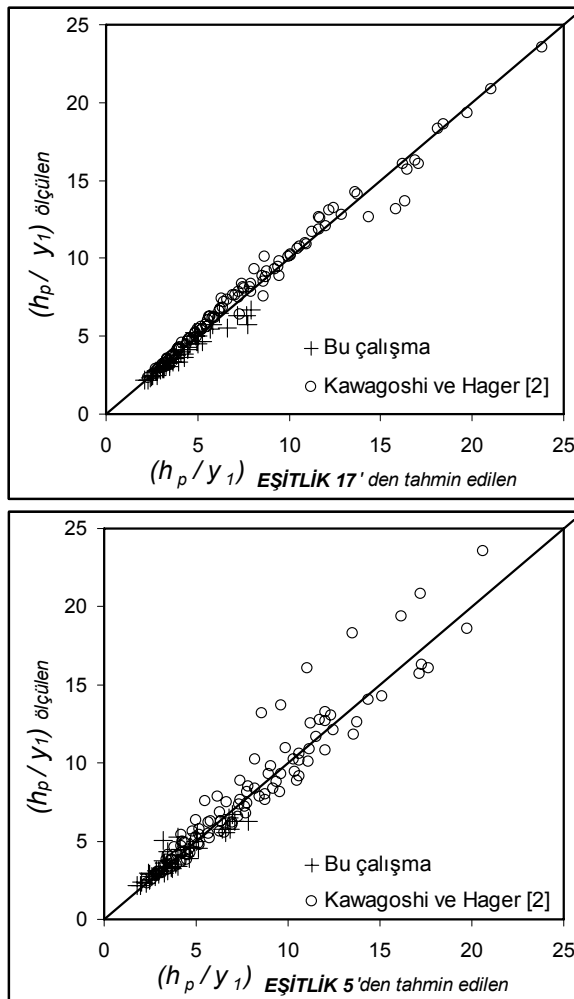
L_w/y_1	Bu çalışmada önerilen model (Eşitlik 16)	Kawagoshi ve Hager[2]'in Önerdiği model (Eşitlik 4)
R^2	0,962	0,864
MAPE (%)	9,064	18,182
MAE (cm)	0,182	0,357

5.3. Dalma Noktasının Yüksekliği (Height of Plunging Point)

Dalma noktasının göreceli yüksekliği (h_p/y_1) için elde edilen model

$$\frac{h_p}{y_1} = 0,615177 \cdot Y^{1,324} \cdot F_{r1}^{-0,265} \quad (17)$$

şeklinde. Bu çalışmada önerilen Eşitlik 17'deki modelin ve Kawagoshi ve Hager'in [2] önerdiği Eşitlik 5'deki modelin ölçümleri yansıtma becerisi ise Şekil 9'daki gibidir.



Şekil 9. h_p/y_1 için önerilen modeller (proposed models for h_p/y_1)

Dalma noktasının göreceli yüksekliği için önerilen modellerin belirleme katsayısı ve hata değerleri Tablo 3'deki gibidir. Tablo 3'de görüleceği gibi Eşitlik 17'de önerilen yeni model yüksek R^2 ve Eşitlik 5'e göre %50 düşük hata değerleriyle ölçümleri daha iyi temsil eden bir modeldir.

Tablo 3. h_p/y_1 için hata analizi (Error analysis for h_p/y_1)

h_p/y_1	Bu çalışmada önerilen model (Eşitlik 17)	Kawagoshi ve Hager[2]'in Önerdiği model (Eşitlik 5)
R^2	0,981	0,927
MAPE (%)	5,838	9,991
MAE (cm)	0,118	0,225

5.4. Dalma Noktasının Yeri (Location of Plunging Point)

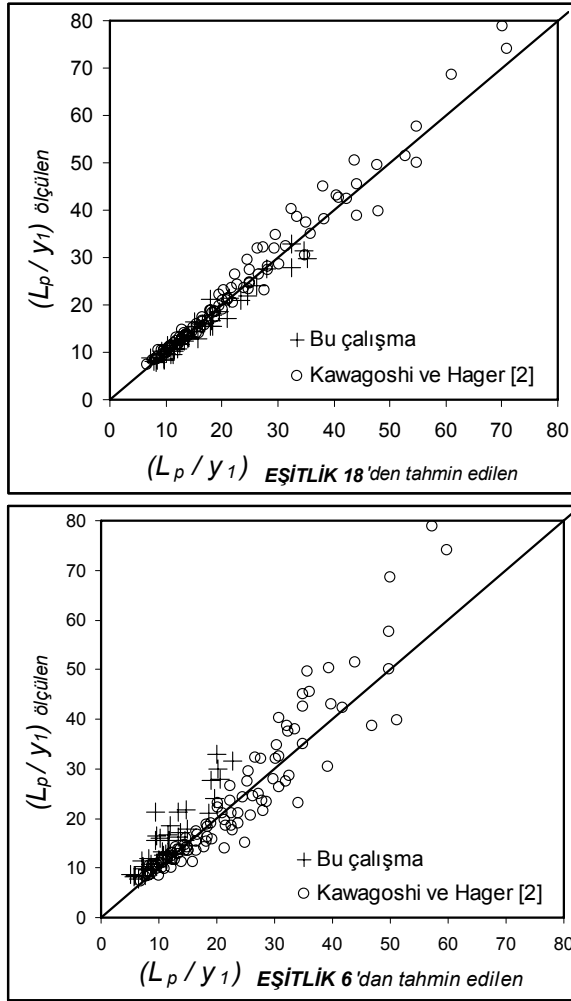
Dalma noktasının eşikten olan göreceli uzaklığı (L_p/y_1) için elde edilen model

$$\frac{L_p}{y_1} = 3,054921 \cdot F_{r1}^{1,161} \cdot S^{0,044} \quad (18)$$

şeklinde. Önerilen modellerin ölçülenleri ne kadar temsil ettiğini görmek için Şekil 10'daki grafikler çizilmiştir.

Dalma noktasının eşikten olan göreceli uzaklığı için önerilen modellerin belirleme katsayısı ve hata değerleri Tablo 4'deki gibidir. Tablo 4'den de görüleceği gibi Eşitlik 18'de önerilen yeni model Eşitlik 5'e göre oldukça yüksek R^2 değerine sahiptir. Ayrıca Eşitlik 5'e göre %50 daha düşük hata değerlerine sahip olması ölçümleri tahminde daha iyi bir model olduğunun göstergesidir.

Bu çalışmada önerilen Eşitlik 15,16,17 ve 18'in belirleme katsayısı aralığı $0,962 < R^2 < 0,985$ ve Kawagoshi ve Hager'in [2] önerdiği Eşitlik 3,4,5 ve 6'nın belirleme katsayısı aralığıysa $0,861 < R^2 < 0,975$ 'dir. Bu çalışmada önerilen modellerin, yüksek belirleme katsayısı değerleri yanında Kawagoshi ve Hager'in [2] önerdiği modellerin verdiği hata değerlerinin nerdeyse yarı değerinde hata değerleri vermesi ölçümleri tahminde daha yetenekli olduklarının göstergesidir. Ayrıca bu çalışmada önerilen modellerin Kawagoshi ve Hager'in [2]'in önerdiği modellere göre daha basit formda olmalarında kullanım açısından avantajdır.



Şekil 10. L_p/y_1 için önerilen modeller (proposed models for L_p/y_1)

Tablo 4. L_p/y_1 için hata analizi (Error analysis for L_p/y_1)

L_p/y_1	Bu çalışmada önerilen model (Eşitlik 18)	Kawagoshi ve Hager [2]'in önerdiği model (Eşitlik 6)
R^2	0,968	0,861
MAPE (%)	7,051	16,575
MAE (cm)	0,159	0,366

6. SONUÇLAR (DISCUSSION)

1. “maksimum dalga yüksekliği”, kuyuksuyu derinliğinin 1,6 katı kadar değerlere ulaşabilmektedir. Eldeki verilerle bu değeri, dalga yüksekliğinin üst sınırı olarak görmek mümkündür.
2. Bu çalışmada önerilen modellerin, birkaç istisna veri hariç, ölçümleri oldukça iyi temsil ettiği görülmektedir. Bu istisna verilerin bir kısmı Kawagoshi ve Hager'e [2] ait olup $S > 11$ durumu içindir. $S > 11$ durumu, Ohtsu ve Yasuda'nın [4] yaptığı akım sınıflamasında

“düşük düşü” ile “yüksek düşü” arasında kalmaktadır. Ancak söz konusu eşik yüksekliği ($S > 11$) “yüksek düşü” tanımına daha çok yakın olduğundan bu istisna verilerin Dalga-tipi akımı temsil etmeme olasılığı yüksektir.

3. SPSS, verileri analiz ederek gözlemler sırasında yapılabilecek okuma hatalarını ve/veya veri girişinde oluşabilecek hataları tespit edebilmektedir. SPSS genel eğilime uymayan bazı verileri aykırı ve/veya uç değer olarak adlandırmakta ve regresyonda dikkate alınmamasını önermektedir. Bu çalışmada da SPSS'in tespit ettiği aykırı ve uç değerler mevcuttur. Ancak bu çalışmada tüm veriler dikkate alınmıştır.
4. Madde 2'de bahsedilen ve modeli oluştururken yapılan regresyonu olumsuz etkileyen istisna veriler ile SPSS'in belirlediği veriler aynı olmaktadır.
5. Bu çalışmada önerilen düşey mesafelerin tahminiyle ilgili modellerde (Eşitlik 15 ve 17) göreceli kuyuksuyu derinliği (Y)'nin, yatay mesafelerin tahminiyle ilgili modellerde (Eşitlik 16 ve 18) ise yaklaşım kanalı Froude sayısı (F_{r1})'nin daha etkin olduğu görülmektedir. göreceli eşik yüksekliği (S) ise bu iki parametreye göre daha az etki gibi gözükmektedir. Ancak, eşik yüksekliği olmadan Dalga-tipi akımın oluşması mümkün değildir.
6. Önerilen modellerin laboratuvar şartlarında elde edilen veriler ve literatürdeki verilerin değerlendirilmesiyle elde edildiği unutulmamalı ve kullanırken ölçek etkisi ve sınır şartları dikkate alınmalıdır.

7. SEMBOLLER ve KISALTMALAR (SYMBOLS and ABBREVIATIONS)

- B : kanal genişliği;
 F_r : Froude sayısı ;
 F_d : Eşitlik 1 de tariflenen “düşü Froude sayısı”;
 f : Eşitlik 2 de tanımlanan “yaklaşım akımı dinamik yükü”;
 g : yerçekim ivmesi;
 h_p : dalma noktasının yüksekliği;
 h_w : maksimum dalga yüksekliği;
 L_p : dalma noktasının olduğu yerle eşik arasındaki mesafe;
 L_w : maksimum dalga yüksekliğinin olduğu yerle eşik arasındaki mesafe;
 R_e : Reynolds sayısı;
 S : göreceli eşik yüksekliği (z/y_1);

t	: zaman;
U	: ortalama akım hızı;
Y	: göreceli kuyruksuyu derinliği (y_2/y_1);
y	: akım derinliği;
z	: eşik yüksekliği;
ρ	: akışkanın özgül kütlesi;
μ	: akışkanın dinamik vizkozitesi;
R^2	: belirleme katsayısı;
MAE	: ortalama mutlak hata;
MAPE	: ortalama mutlak yüzde (relatif) hata;

8. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Hager, W.H., ve Bretz, N.V., “Hydraulic Jumps at Positive and Negative Steps”, **J. of Hydr.Res.**, Cilt 24, No 4, 237-253, 1986.
- Kawagoshi, N., ve Hager, W.H., “Wave Type Flow at Abrupt Drops”, **J. of Hydr.Div.**, ASCE, Cilt 23, No 2, 235-252, 1990.
- Rajaratnam, N., ve Ortiz, N.V. , “Hydraulic Jumps and Wave at Abrupt Drops”, **J. of Hydr.Div.**, ASCE, Cilt 103, No 4, 381-394, 1977.
- Ohtsu, I., ve Yasuda, Y. , “Transition from Supercritical to Subcritical Flow at an Abrupt Drop”, **J. of Hydr.Res.**, Cilt 29, No 3, 309-328, 1991.
- Moore, W.L., ve Morgan, C.W., , “Hydraulic Jumps at an Abrupt Drop”, **Transactions**, ASCE, Cilt124, 507-524, 1959.
- Sharp, J.J. , “Observations on Hydraulic Jumps at Rounded Steps”, **J. of Hydr.Div.**, ASCE, Cilt 6, No 6, 787-795,1974.
- Tokyay (Denli), N., ve Gur, Z. , “Hydraulic Jump at an Abrupt Drop”, **Doğa, TR. J. of Engineering and Environmental Sciences**, Cilt 14, 215-230, 1990.
- Mossa M., Petrillo A., ve Chanson H. , “Tailwater Level Effects on Flow Conditions at an Abrupt Drop”, **J. of Hydr.Res.**, Cilt 40, No 4, 1-13, 2002.
- Armenio, V., Toscano, P., ve Fiorotto, V. , “On the Effect of a Negative Step in Pressure Fluctuations at the Bottom a Hydraulic Jump”, **J. of Hydr.Res.**, Cilt 38, No 5, 359-368, 2000.
- Eroglu, N., **Wave-Type Flows at Abrupt Bottom Changes**, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, 1991.
- Yasuda, Y., Takahashi, M., ve Ohtsu, I., Discussion and Reply of “Tailwater Level Effects on Flow Conditions at an Abrupt Drop”, **J. of Hydr.Res.**, Cilt 43, No 2, 217-224, 2005.
- Kocabas, F., Unal, S., “Compared Techniques for the Critical Submergence of Intake in Water Flow.”, **Advances in Engineering Software**, Cilt 41, No 5, 802-809, 2010.
- Tasdemir, Y., Agar, E., “Investigation of the Low Temperature Performance of Polymer and Fiber Modified Asphalt Mixtures”, **Indian J Eng. Mater. Sci.**, Cilt 14, 151-157, 2007.
- Gencil, O., Kocabas, F., Gok, M.S., Koksall, F., “Comparison of artificial neural networks and general linear model approaches for the analysis of abrasive wear of concrete”. **Construction and building materials**, Cilt 25, 3486–3494, 2011.

