

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AÇIK KANALLARDA HAVALANDIRMA
VERİMLİLİĞİNİN ETKİSİ**

İnşaat Mühendisi Sadettin TOPÇU

**FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Hidrolik Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Tuba BOSTAN(YTÜ)

İSTANBUL, 2011

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....	iv
KISALTMA LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ÖNSÖZ.....	x
ÖZET.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. SUYUN DOĞAL OLARAK HAVALANDIRILMASI.....	3
2.1 Hava Kabarcığı.....	3
2.1.1 Türbülanslı Akımlarda Hava Kabarcığının Hızının Belirlenmesi.....	5
2.1.2 Hava Kabarcığının Boyutunun Belirlenmesi.....	6
2.2 Hidrolik Sıçrama.....	7
2.2.1 Hidrolik Sıçramada Havalandırma Mekanizması.....	10
2.3 Savaktan Akan Suyun Havalandırılması.....	14
2.3.1 Üst Bölge.....	15
2.3.2 Karışım Bölgesi.....	15
2.3.3 Başlangıç Bölgesi.....	15
2.3.4 Ana Akış Gerçek Bölgesi.....	15
2.3.5 Geniş Açık Kanalda Suyun Havalandırılmasında Kullanılan Parametreler.....	16
2.4 Basamaklı Yapılarda Oksijen Transferi.....	18
2.4.1 Nap Akım Rejimi.....	19
2.4.2 Skimming Akım Rejimi.....	20
2.4.3 Düşü Havuzlu Basamaklı Yapıların Tasarımı.....	21
2.5 Şaft İçinde Serbest Düşü Yapan Su Jetinin Oksijen Transferi.....	23
2.5.1 Hava Konsantrasyonunun Dağılımı.....	26
3. DENEY SİSTEMİ VE KULLANILAN ÖLÇÜM TEKNİKLERİ.....	27
3.1 Deney Sistemi.....	27
3.2 Çözünmüş Oksijen Ölçümleri.....	30
4. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	33
4.1 Deneylerin Test Matrisi.....	34

4.2	Boyut Analizi.....	35
4.3	DeneySEL Verilerin SPSS Programıyla Analizinin Yapılması.....	37
4.4	Hidrolik Sıçramanın Doğal Havalandırma Verimliliğinin Araştırılması.....	44
4.5	Jet Etki Ettirilen Hidrolik Sıçramanın Doğal Havalandırma Verimliliğinin Araştırılması.....	50
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	61
	KAYNAKLAR.....	63
	EKLER.....	66
Ek 1	Kapak Arkası ve Hidrolik Sıçrama Sonrası ÇO(ppm) Ölçümlerinin SPSS Programında Analizi.....	67
Ek 2	Fr ₁ ve E20 arasındaki ilişkinin SPSS Analizi ile İncelenmesi.....	109
Ek 3	E20 ve ΔH/H arasındaki ilişkinin SPSS Analizi ile İncelenmesi.....	110
Ek 4	Fr ₁ = 3,92'de E20 ve Q _{jet} /Q _r 'nin SPSS Analizi ile İncelenmesi.....	111
Ek 5	Fr ₁ = 4,67'de E20 ve Q _{jet} /Q _r 'nin SPSS Analizi ile İncelenmesi.....	112
Ek 6	Fr ₁ = 5,16'da E20 ve Q _{jet} /Q _r 'nin SPSS Analizi İle İncelenmesi.....	113
	ÖZGEÇMİŞ.....	114

SİMGE LİSTESİ

a	Düşey kapak altı su yüksekliği
A_1	Fr_1 'e bağlı katsayı
A_2	Fr_1 'e bağlı katsayı
C	Yerel hava konsantrasyonu
\bar{C}	Savaktaki yerel hava konsantrasyonu
C_a	Gerçek hava konsantrasyonu
C_d	Savak katsayısı
C_D	Mansap bölgesindeki oksijen konsantrasyonu
C_m	Pitot tüpüyle ölçülen hava konsantrasyonu
C_{maks}	Maksimum hava konsantrasyonu
C_S	Havadaki oksijen konsantrasyonu
C_U	Memba bölgesindeki oksijen konsantrasyonu
d_{ab}	Hava kabarcığının çapı
d_c	Kritik derinlik
d_1	Hidrolik sıçrama öncesindeki su derinliği
d_2	Hidrolik sıçrama sonrasındaki su derinliği
d_{95}	Kritik hava kabarcığının çapı
D	Kanal çapı
E	Havalandırma verimliliği
E_T	T sıcaklığındaki havalandırma verimliliği
E_{20}	20°C sıcaklıktaki havalandırma verimliliği
f_T	Sıcaklık düzeltme katsayısı
f_1	Profil katsayısı
f_2	Profil katsayısı
F_{maks}	Maksimum hava kabarcığının frekansı
Fr_1	Memba Froude sayısı
g	Yerçekimi ivmesi
h	Savaklanma yüksekliği
h_r	Çevrinti yüksekliği
H	Düşey kapak arkası su yüksekliği
L	Basamak uzunluğu
L_C	Havalandırmanın başladığı kritik noktanın akımın başlangıcına olan uzaklığı
L_j	Hidrolik sıçrama uzunluğu
L_r	Hidrolik sıçramanın çevri bölgesinin uzunluğu
L_s	Akımın basamaklardan düşüş uzunluğu
L_w	Basamaklı yapılarda oluşan hidrolik sıçramanın uzunluğu
$\frac{M}{P}$	Birim kütledeki enerji dağılımı
P_w	Karışım bölgesindeki dalgaların arasındaki hava konsantrasyonu

q	Birim debi
Q	Kanal akımının debisi
Q_{jet}	Su jetinin debisi
Q_r	Deneysel çalışmada ölçülen en küçük su jeti debisi
R	Hava kabarcığının yarıçapı
R_b	Küre olan hava kabarcığının yarıçapı
R_c	Hava kabarcığının eğrilik yarıçapı
T_{su}	Kanal akımında ölçülen suyun sıcaklığı
U_r	Hava kabarcığının yükselme hızı
U_1	Kanal akımında hidrolik sıçrama öncesindeki ortalama hız
V_f	Türbülanslı akımdaki hava kabarcığının hızı
V_t	Laminer akımdaki hava kabarcığının hızı
V'	Türbülans hızı
w	Düşü havuzunun derinliği
x_1	Hidrolik sıçramanın başlangıç noktasının düşey kapağa olan yatay uzaklığı
$Y_{C_{maks}}$	Maksimum hava konsantrasyonunun düşey yüksekliği
$Y_{F_{maks}}$	Maksimum hava kabarcığı frekansının düşey yüksekliği
Y_{kayma}	Türbülans kayma bölgesinin düşey yüksekliği
α	Kanal eğimi
β	Hız dağılımı düzeltme faktörü
ε	Hava kabarcığının kütle transfer katsayısı
ω_a	Akım içindeki hava hacmi
ω_w	Akım içindeki su hacmi
ρ_{C_D}	Mansap bölgesinde ölçülen çözünmüş oksijen değerleri
ρ_g	Havanın özgül kütlesi
ρ_w	Suyun özgül kütlesi
ΔH	Yük kaybı
δ	Türbülans sınır tabakasının kalınlığı
ν	Kinematik viskozite
σ	Ara yüzey gerilmesi

KISALTMA LİSTESİ

ÇO	Çözünmüş Oksijen
DO	Dissolved Oxygen
ppm	Parts Per Million
Ka	Kapak arkası
Hss	Hidrolik sıçrama sonrası

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	Hava kabarcığının yarıçapının; $R=2$ mm olduğu zaman küre dilimine doğru (Falvey, 1980).....	4
Şekil 2.2	Hava kabarcığının hızının kabarcığın şekline göre değişimi (Falvey, 1980).....	5
Şekil 2.3	a sabitinin akımın debisi ve akımın aktığı kanal çapı yardımıyla bulunması (Falvey, 1980).....	6
Şekil 2.4	Hidrolik sıçrama (Günel, 1992).....	7
Şekil 2.5	Yatay kanalda oluşan hidrolik sıçrama tipleri (Yüksel, 2010).....	8
Şekil 2.6	Eğimli kanallarda hidrolik sıçrama tipleri (Günel, 1992).....	8
Şekil 2.7	Hidrolik sıçrama ve çevri bölgesi (Murzyn ve Chanson, 2008).....	11
Şekil 2.8	Türbülans kayma bölgesi ve sınır tabakası (Gualtieri ve Chanson, 2007).....	11
Şekil 2.9	Düşeydeki hava konsantrasyonu ve hava kabarcıklarının frekans dağılımı (Murzyn ve Chanson, 2008).....	12
Şekil 2.10	Savaktaki akımın düşeyde oluşturduğu bölgeler (Falvey, 1980).....	15
Şekil 2.11	Savaktaki akımın yatayda oluşturduğu üç farklı rejim (Falvey, 1980).....	16
Şekil 2.12	L_c kritik uzunluğunun birim debi ve kanal eğimiyle bulunması (Falvey, 1980).....	17
Şekil 2.13	Nap akım rejimi (Berkun ve Aras, 2010).....	19
Şekil 2.14	Skimming akım rejimi (Berkun ve Aras, 2010).....	20
Şekil 2.15	Düşü havuzlu basamaklı yapı (Aigner, 2001).....	21
Şekil 2.16	Basamak yüksekliği ve düşü havuzunun derinliğinin belirlenmesi (Aigner, 2001).....	22
Şekil 2.17	Akımın eğimi ve basamak yüksekliğinden birim debinin belirlenmesi (Aigner, 2001).....	22
Şekil 2.18	Akımın rejiminin akımın eğimi ve h_c/s yardımıyla bulunması (Aigner, 2001).....	23
Şekil 2.19	Şaft içinde serbest düşü yapan su jeti (Chanson, 2007).....	23
Şekil 2.20	Nap darbesinin şematik gösterimi (Chanson, 2007).....	24
Şekil 2.21	Şaft içinde serbest düşü yapan su jetinin şematik gösterimi (Chanson, 2007).....	24
Şekil 2.22	Su jetinin düşü havuzuna çarpması (Chanson, 2007).....	25
Şekil 2.23	Hava konsantrasyonunun dağılımı (Chanson, 2007).....	26
Şekil 3.1	Deneylerin yapıldığı açık kanal.....	27
Şekil 3.2	Deney kanalının şematik gösterimi.....	28
Şekil 3.3	Kanalda kapalı sirkülasyonu sağlayan pompalar.....	29
Şekil 3.4	Kanalda akımın ve su jetinin debisinin belirlenmesinde kullanılan debimetre.....	29
Şekil 3.5	DO200 el tipi oksijenmetre ve ÇO ölçümü.....	30
Şekil 4.1	Açık kanalda oluşturulan hidrolik sıçramanın şematik gösterimi (Murzyn ve Chanson, 2008).....	33
Şekil 4.2	Kanal akımına verilen jet mekanizması ve çarpan su jeti.....	34
Şekil 4.3	$Fr_1=3.55$ akım şartı için Hss yapılan ölçümlerin ilk dikliklerinin yatayla yaptığı açısı.....	38
Şekil 4.4	$Fr_1=3.92$ akım şartı için Hss yapılan ölçümlerin ilk dikliklerinin yatayla yaptığı açısı.....	38
Şekil 4.5	$Fr_1=4.24$ akım şartı için Hss yapılan ölçümlerin ilk dikliklerinin yatayla yaptığı açısı.....	39
Şekil 4.6	$Fr_1=4.67$ akım şartı için Hss yapılan ölçümlerin ilk dikliklerinin yatayla yaptığı açısı.....	39
Şekil 4.7	$Fr_1=5.16$ akım şartı için Hss yapılan ölçümlerin ilk dikliklerinin yatayla yaptığı açısı.....	40

Şekil 4.8	$Fr_1=6.07$ akım şartı için Hss yapılan ölçümlerin ilk dikliklerinin yatayla yaptığı açısı.....	40
Şekil 4.9	$Fr_1=3.55$ için zamana bağlı sudaki çözünmüş oksijen miktarının değişimi.....	41
Şekil 4.10	$Fr_1=3.92$ için zamana bağlı sudaki çözünmüş oksijen miktarının değişimi.....	42
Şekil 4.11	$Fr_1=4.24$ için zamana bağlı sudaki çözünmüş oksijen miktarının değişimi.....	42
Şekil 4.12	$Fr_1=4.67$ için zamana bağlı sudaki çözünmüş oksijen miktarının değişimi.....	43
Şekil 4.13	$Fr_1=5.16$ için zamana bağlı sudaki çözünmüş oksijen miktarının değişimi.....	43
Şekil 4.14	$Fr_1=6.07$ için zamana bağlı sudaki çözünmüş oksijen miktarının değişimi.....	44
Şekil 4.15	Hidrolik sıçramada havalandırma verimliliğinin Froude sayısına göre değişimi.....	45
Şekil 4.16	Hidrolik sıçramada çevri uzunluğunun Froude sayısına göre değişimi.....	45
Şekil 4.17	Hidrolik sıçramada havalandırma verimliliğinin çevri uzunluğuna göre değişimi.....	46
Şekil 4.18	Hidrolik sıçramadaki rölatif enerji kaybının Froude sayısına göre değişimi.....	46
Şekil 4.19	Hidrolik sıçramada havalandırma verimliliğinin rölatif enerji kaybıyla değişimi.....	47
Şekil 4.20	Hidrolik sıçramadaki havalandırma verimliliğinin d_1 / H oranına göre değişimi.....	48
Şekil 4.21	Hidrolik sıçramadaki havalandırma verimliliğinin L_r / H oranına göre değişimi.....	48
Şekil 4.22	Hidrolik sıçramadaki havalandırma verimliliğinin $Q / (U_1.H^2)$ oranına göre değişimi.....	49
Şekil 4.23	Hidrolik sıçramanın çevri bölgesine çarptırılan su jetinin türbülans kayma bölgesinde meydana getirdiği değişimin şematik gösterimi.....	51
Şekil 4.24	$Fr_1=3.92$ olan akım şartlarında bağlı çözünmüş oksijen değerlerinin farklı jet debilerinde değişimi.....	52
Şekil 4.25	$Fr_1=4.67$ olan akım şartlarında bağlı çözünmüş oksijen değerlerinin farklı jet debilerinde değişimi.....	53
Şekil 4.26	$Fr_1=5.16$ olan akım şartlarında bağlı çözünmüş oksijen değerlerinin farklı jet debilerinde değişimi.....	54
Şekil 4.27	Aynı Froude sayısında su jeti debisindeki değişime göre havalandırma verimlilikleri.....	56
Şekil 4.28	$Fr_1=3.92$ akım şartlarında E_{20} 'nin su jeti debisine göre değişimi.....	57
Şekil 4.29	$Fr_1=4.67$ akım şartlarında E_{20} 'nin su jeti debisine göre değişimi.....	57
Şekil 4.30	$Fr_1=5.16$ akım şartlarında E_{20} 'nin su jeti debisine göre değişimi.....	58
Şekil 4.31	Aynı su jeti debisinde farklı Froude sayılarında havalandırma verimliliğinin değişimi.....	59
Şekil 4.32	Havalandırma verimliliğinin $Q_{jet} / (U_1.H^2)$ göre değişimi.....	60

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1	Sudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonunun sıcaklıkla değişimi (Colt, 1984).....	32
Çizelge 4.1	Yapılan deneylerin test matrisi.....	34
Çizelge 4.2	Yapılan ölçümlerin ilk dikliklerinin yatayla yaptıkları açılar.....	37
Çizelge 4.3	Üç farklı Fr_1 sayısında su jeti debisinin değişimine bağlı E_{20} denklemleri.....	55

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans tezi çalışmam boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Tuba BOSTAN'a teşekkürü bir borç bilirim. Deneysel çalışmalar esnasında deneyimlerini paylaşarak yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. Ali COŞAR'a ve tüm Hidrolik Anabilim Dalı hocalarıma sonsuz şükranlarımı sunarım.

Ocak 2011

ÖZET

Suyun kalitesini ve kullanılabilirliğini belirleyen en önemli parametrelerden biri su içindeki çözülmüş oksijen miktarı (ÇO)'dır. Canlıların sağlıklı bir şekilde hayatlarını sürdürmeleri için sudaki çözülmüş oksijen konsantrasyonu 5 mg/l'ten büyük olması gerekir. Bu nedenle hidrolik sıçrama suyun oksijen kazanımında etkin bir mekanik karıştırıcı olarak kullanılabilir. Hidrolik sıçramanın türbülans kayma bölgesine su jeti çarptırılarak hidrolik sıçramanın havalandırma verimliliğinin artırılması amaçlanmıştır.

Deneyle, 0.4 metre genişliğinde, 0.65 metre yüksekliğinde ve 12 metre uzunluğundaki açık bir kanalda gerçekleştirilmiştir. Çözülmüş oksijen ölçümleri DO200 el tipi oksijenmetre ile gerçekleştirilmiştir. $Fr_1=3.55-6.07$ arasında değişen değerler almıştır. Su jeti, 3 farklı Fr_1 sayısında 5 farklı jet debisinde etki ettirilmiştir.

Hidrolik sıçramanın memba ve mansap bölgesinde ölçülen zamana bağlı çözülmüş oksijen değerlerinin oluşturduğu eğrilerin SPSS programında yapılan analizler sonucu, en uygun değişiminin üçüncü dereceden bir denklem olan $a + bx^3 + cx^2 + dx$ ile ifade edilebileceği görülmüştür. Su jeti, hidrolik sıçramanın türbülans kayma bölgesinde kayma gerilmelerini artırarak hidrolik sıçrama esnasında ve su jetiyle oluşan hava kabarcıklarının çevri bölgesi uzunluğu içerisinde daha çok yol almalarını sağlamaktadır. Böylelikle transfer olan oksijenin kütlesi artar. Bu artışın, yüksek Fr_1 sayılarında, düşük Fr_1 sayılarına göre daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çözülmüş oksijen, hidrolik sıçrama, havalandırma, havalandırma verimliliği, su jeti.

ABSTRACT

One of the most important parameters that determine the disponibility of water is the amount of the dissolved oxygen (DO) in water. For the living things to continue to their lives healthfully, the concentration of the dissolved oxygen must be greater than 5 mg/l. That is why; the hydraulic jump can be used as an effective mechanical mixer in the oxygen acquisition of water. It is aimed to increase the aeration efficiency of the hydraulic jump by crashing the water jet on the turbulence shear layer of the hydraulic jump.

The experiments have been realized in an open channel having a width of 0,4 meters, height of 0,65 meters and a length of 12 meters. Dissolved oxygen measurements have been realized by a DO200 hand type oxygen meter. $Fr_1=3.55-6.07$ has taken variable values. The water jet has been made to effect in 3 different Fr_1 figures and 5 different water jet flows.

As the result of the analysis of the curves occurred by the dissolved oxygen values depending on the time of the hydraulic jump measured in the upstream and downstream, it is observed that the most convenient change can be expressed by a third degree equation of $a + bx^3 + cx^2 + dx$. By increasing the shear stress of the hydraulic jump in the turbulence shear layer, the water jet enables the air bubbles occurred by the water jet during the hydraulic jump to proceed more along the recirculation region length. Thus, the mass of oxygen transfer increases. It was also observed that the aforementioned increase is more in high Fr_1 figures than the low Fr_1 figures.

Keywords: Dissolved oxygen, hydraulic jump, aeration, aeration efficiency, water jet.

1. GİRİŞ

Kentleşmenin ve endüstrileşmenin hızla artışı nedeniyle doğal kaynaklar hızlı bir şekilde tükenmektedir. Çevre kirliliği ve buna bağlı tahribat ise her geçen gün giderek artmaktadır. Bu çevre kirliliği içerisinde ise doğal su kaynaklarının kirlenmesi canlı yaşamları üzerinde çok büyük öneme sahiptir. Yeryüzünde suyun kalitesini belirleyen en önemli parametrelerden biri su içindeki çözülmüş oksijen miktarı (ÇO)'dır. Canlıların, sağlıklı bir şekilde hayatlarını sürdürmeleri için sudaki çözülmüş oksijen konsantrasyonu 5 mg/l'ten büyük olması gerekir. Bir sudaki canlı hayatın değişmesine yani ekolojik hayatı etkileyecek düzeyde kirleticiler içermesine o suyun kirlenmesi denir. Kirliliği suyu kullanım amacına uygun olmayan su diye tarif etmek mümkündür. Örneğin içmek için uygun olmayan bir su sulama için uygun olabilir. Su kirleticileri çok çeşitlidir (Peker, 2007). Bunlar:

- 1-) Organik kirleticiler
- 2-) Salgın hastalıklara neden olan kirleticiler
- 3-) Bitkilerin anormal büyümesine ve çoğalmasına neden olan kirleticiler
- 4-) Petrol kökenli kirleticiler
- 5-) Sentetik organik kirleticiler
- 6-) İnorganik kirleticiler
- 7-) Sediment kökenli kirleticiler
- 8-) Radyoaktif kirleticiler
- 9-) Atık ısısının meydana getirdiği kirlenmeler

Bu su kirleticileri arasında, suyun oksijen yönünden fakirleşmesini sağlayan organik kirleticiler olarak öne çıkmaktadır. Böyle maddeler antropojenik faaliyetler (ev atıkları, hayvan atıkları, gıda fabrikaları atıkları vb.) sonucu sulara karışırlar. Karıştıkları sular durgunsa bunlar suyun dibinde toplanırlar. Buna sedimentasyon denir. Sedimentasyonla çöken organik maddeler içinde inorganik maddeler de bulunur. Organik ve inorganik maddelerin bir karışımı olan sedimentler bakteriler ve diğer organizmalar için iyi bir ortamdır. Böyle bir ortamda mikroorganizmalar suda çözülmüş oksijeni kullanarak sedimentteki organik maddeleri parçalarlar. Bu şekilde sedimentte bulunan organik maddelerin suda çözülmüş halde bulunan oksijen yanında mikroorganizmalar tarafından parçalanmasına aerobik parçalanma adı verilir. Aerobik parçalanma çözülmüş oksijen kullanılmasıyla

olduğundan suda çözülmüş oksijen konsantrasyonu azalır. Bu azalma havadan oksijen absorbe edilerek telafi edilmeye çalışılır. Ancak sudaki sedimentte organik madde çok ise birim hacimde üreyen bakteri sayısı çok olur. Havadan absorbe edilen oksijen bakteriler tarafından kullanılan oksijeni karşılayamaz hale gelir. Bu durumda aerobik bakteriler ölür. Bu konsantrasyon azalmasının havadan oksijen transferi veya emilmesiyle karşılanması gerekmektedir (Peker, 2007).

Serbest yüzey türbülanslarının büyümeye başladığı akımın herhangi bir yerinde hava girişi gerçekleşir ve bu yer oksijen transferi için de en uygun yerdir. Şimdiye kadar serbest yüzey türbülanslarının meydana geldiği hidrolik sıçrama, dolu savak, savak ve kaskat akımlarında oksijen transferi incelenmiştir (Kucukali, 2002).

Bu çalışmada, bir açık kanal içerisinde oluşturulan farklı Froude sayılarındaki hidrolik sıçramalar üzerine çarptırılan su jetinin oksijen transferine etkisi araştırılmıştır. Çalışmanın amacı, açık kanallardaki akımın hidrolik sıçrama ve su jeti yardımıyla oksijen yönünden zenginleştirilmesidir. Böyle bir düzeneğin kurulmasıyla en az iş gücü ve enerjiyle yeterli oksijen konsantrasyonuna ulaşılması sağlanacaktır.

2. SUYUN DOĞAL OLARAK HAVALANDIRILMASI

2.1 Hava Kabarcığı

Falvey (1980)'e göre serbest düşü yapan, savaktan mansaba doğru akan veya hidrolik sıçrama yapan su; buralardaki akımda meydana gelen değişimlerden dolayı oksijen yönünden kaliteli su haline gelir. Bu şekilde akan sularda mansap bölgesindeki köpüklenmeden dolayı su süt görünümünü alır. “Beyaz Su” adı da verilen bu görünüm aslında türbülanslı sınır tabakasının akımın yüzeyiyle kesişmesi sonucu meydana gelir. Su akımının kendi kendini havalandırma işlemi yani suyun oksijen kazanımı işte bu sınır tabakasının değişimine bağlıdır (Falvey 1980).

Laminer akımlarda yüzey gerilmeleri küçük hava kabarcıklarının şekillerindeki en etkili faktörlerden bir tanesidir. Bu nedenle hava kabarcıkları yüzey gerilmelerinin etkisi altında genelde tam küre olma eğilimindedirler. Bu şeklin değişimi yüzey gerilmelerinin değişimiyle açıklanmaktadır (Falvey, 1980)

Akım içindeki hava kabarcıklarının hareketi izlendiğinde hareketin, kaldırma kuvvetleri ve viskoz kuvvetler etkisi altında olduğu görülmektedir.

Bu değişimden dolayı hava kabarcığının hızı, hava kabarcığının boyutuna göre Falvey (1980)'e göre aşağıdaki ifadeyle tanımlanmıştır:

$$V_t = \frac{2}{9} \left(\frac{R^2 g [1 - (\rho_g - \rho_w)]}{\nu} \right) \quad (2.1)$$

Buradaki R: hava kabarcığının yarıçapını göstermektedir. Bu formül Stokes çözümü olarak da bilinmektedir. Yukarıda bilinen değerler yerine konulduğunda ise hava kabarcıklarının hızı kabarcığın yarıçapının değişimine göre aşağıdaki değerleri almaktadır (Falvey, 1980):

$$V_t = 1.45R^2 \rightarrow R \leq 0.068 \text{ mm} \quad (2.2)$$

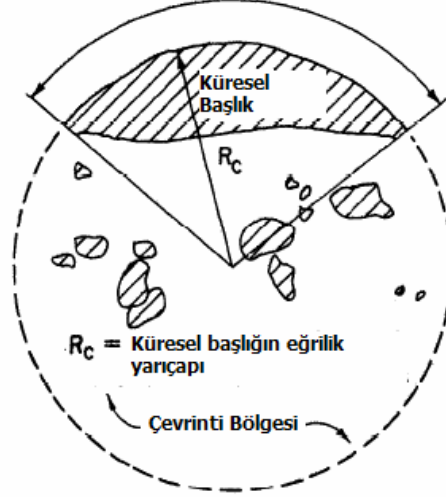
$$V_t = 0.625R^2 \rightarrow 0.068 \leq R \leq 0.40 \text{ mm} \quad (2.3)$$

$$V_t = 0.25 \text{ m/s} \rightarrow 0.40 \leq R \leq 10 \text{ mm} \quad (2.4)$$

Formüllerden de görüleceği üzere hava kabarcığının yarıçapı 0.40 mm ile 10 mm arasında olduğu zaman hava kabarcıklarının hızı sabit bir değer almaktadır (Falvey, 1980).

Hava kabarcığının yarıçapı, 0.40 mm ile 10 mm arasında büyür iken aynı zamanda hava kabarcığı da bu arada şekil değiştirme eğiliminde olur. Yaklaşık olarak yarıçap 2 mm

civarlarındayken tam küresel şekilden küre parçasına veya küre dilimine doğru geçiş başlar (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Hava kabarcığının yarıçapının; $R=2$ mm olduğu zaman küre dilimine doğru şekil değiştirmesi (Falvey, 1980).

Tam bu esnada kaldırma kuvveti ve yüzey gerilmelerinin yanında atalet kuvvetleri de hava kabarcığının hızında etkili bir parametre haline gelir.

$$V_t = [0.01R_b + (0.079 / R_b)]^{1/2} \quad (2.5)$$

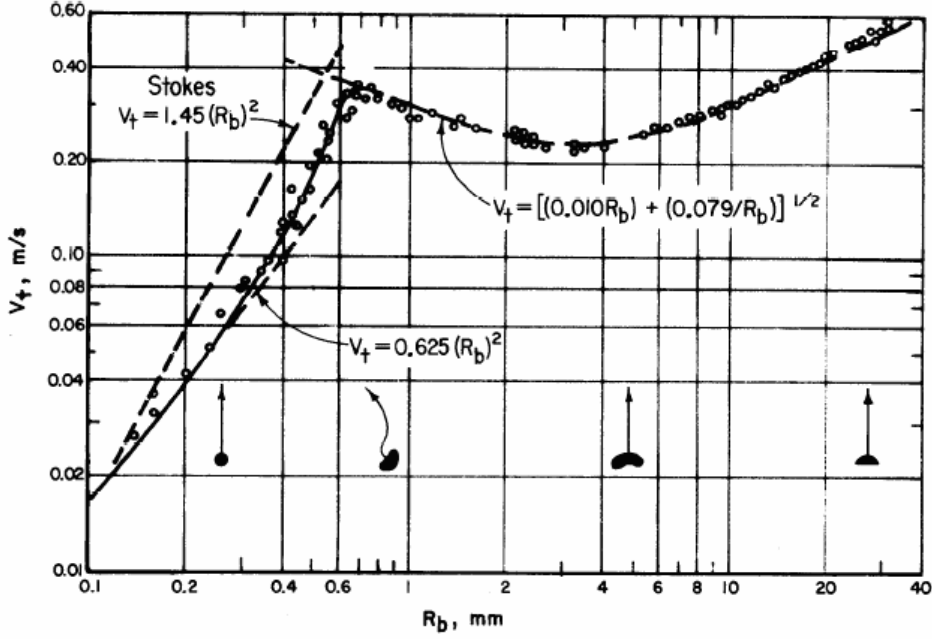
Burada R_b küre olan hava kabarcığının yarıçapını göstermektedir. Bu hava kabarcığının büyümesiyle birlikte şekil değişiminin daha önce bahsedilen küresel başlığın meydana geldiği duruma gelmesi halinde ise kabarcığın yarıçapı 10 mm'den büyük olur. Bu durumda ise hava kabarcığının hızı;

$$V_t = \frac{2}{3}(gR_c) \quad (2.6)$$

(2.6) eşitliğindeki R_c ise hava kabarcığının eğrilik yarıçapıdır. Eğer bu formül R_b cinsinden yazılmak istenirse aşağıdaki ifade ortaya çıkmaktadır:

$$V_t = (g \cdot R_b)^{1/2} \quad (2.7)$$

Hava kabarcığının şeklinin değişimiyle birlikte hızının değişimini gösteren eğri Şekil 2.2'de gösterilmiştir (Falvey, 1980).



Şekil 2.2 Hava kabarcığının hızının kabarcığın şekline göre değişimi (Falvey, 1980)

2.1.1 Türbülanslı Akımlarda Hava Kabarcığının Hızının Belirlenmesi

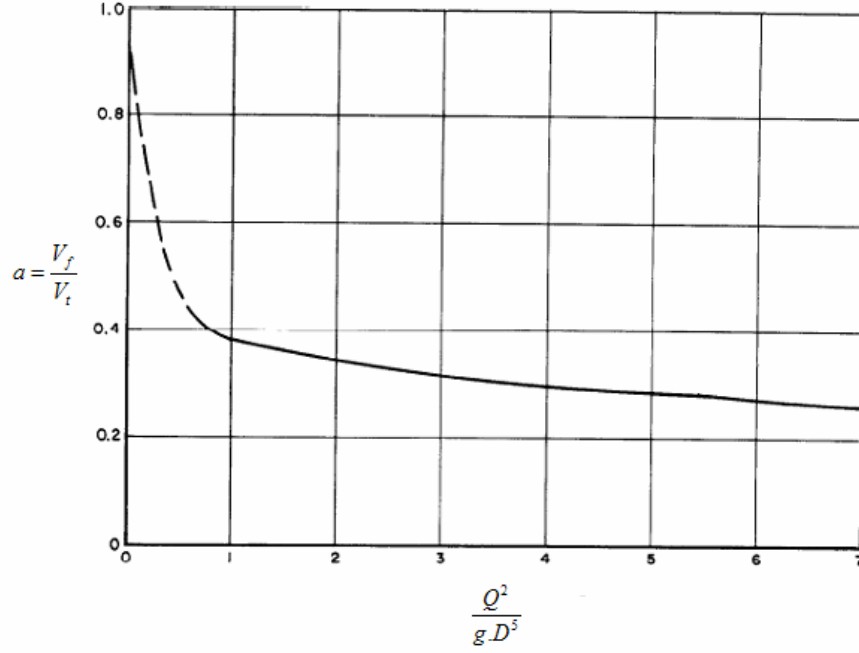
Laminer akımda olduğu gibi türbülanslı akımda hava kabarcığının hızı yukarıdaki grafikten elde edilemez. Bunun sebebi türbülanslı akımda hava kabarcıklarının askıda kalmasıdır. Bundan dolayıdır ki laminer akımdaki hava kabarcıklarının hızı, türbülanslı akımdaki hava kabarcıklarındakine göre daha büyüktür. Laminer akımdaki hava kabarcığının hızı V_t ve türbülanslı akımdaki hava kabarcığının hızı V_f olmak üzere,

$$V_f = aV_t \quad (2.8)$$

olarak tanımlanmıştır. Buradaki a ise akımın Fr_1 sayısına göre değişen boyutsuz bir sabittir. a katsayısı ise Şekil 2.3'de verilen grafikte elde edilmektedir. Bu grafikteki Q akımın debisini ve D ise akımın aktığı kanal çapını göstermektedir. Hava kabarcıklarına türbülanslı akımın etkisi kaldırma kuvveti ve türbülans difüzyon kuvvetleriyle olmaktadır. Türbülanslı akımda hava kabarcıklarının yukarı doğru hareketinin dışında bu doğrultuda çok yoğun oldukları yerden az yoğun oldukları yere doğru hareketleri de vardır. Bu şekilde hava kabarcıklarının akım içerisindeki yoğunluk dengesi sağlanmış olur. Bu hareketteki kütle akış oranı ise aşağıdaki eşitlikten bulunmaktadır (Falvey, 1980).

$$C.V_f = \varepsilon \frac{dc}{dy} \quad (2.9)$$

Buradaki C ; yerel hava konsantrasyonunu, ε ; hava kabarcığının kütle transfer katsayısını ve dc/dy ise hava konsantrasyonunun düşey doğrultudaki değişimini göstermektedir.



Şekil 2.3 a sabitinin akımın debisi ve akımın aktığı kanal çapı yardımıyla bulunması (Falvey,1980)

2.1.2 Hava Kabarcığının Boyutunun Belirlenmesi

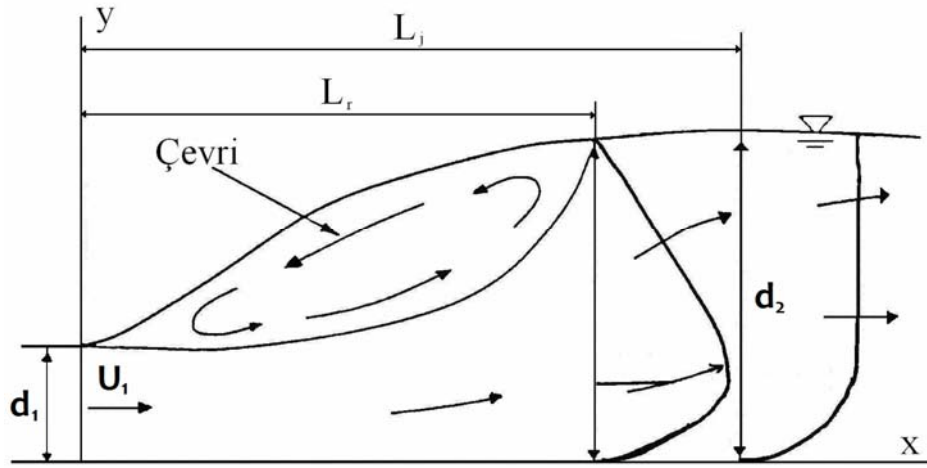
Akış halindeki suyun veya dışarıdan mekanik yollarla tedirgin edilmiş durgun sudaki hava kabarcığının boyutu Falvey (1980)'e göre su içindeki kayma gerilmeleriyle belirlenir. Küçük hava kabarcıklarının boyutu türbülanslı akımda belirlenmektedir. Bunun dışında küçük hava kabarcıklarının boyutu arttıkça etraflarındaki çevrimsel bölgeden dolayı hava kabarcıkları bir araya gelerek kümelenme ve ardından da birleşerek daha büyük hava kabarcıklarını oluştururlar. İşte bu büyük hava kabarcıklarının da türbülanslı akım içinde boyutları belirlenmektedir. Fakat türbülanslı akım alanında bulunan kayma gerilmelerinden dolayı bu büyük hava kabarcıkları parçalanmaktadır. İşte bu birleşme ve ayrışmanın eş zamanlı meydana gelmesinden dolayı hava kabarcıklarının boyutu için kritik bir çap belirlenmiş ve buradan hava kabarcıklarının boyutu elde edilmiştir. Aynı zamanda bu kritik çap, yüzey çekme gerilmeleri ile akışkanın iç gerilmeleri arasında bir denge olduğunu gösterir. Bu kritik çap ise % 95'i hava olan kabarcığın çapı olan d_{95} olarak aşağıdaki eşitlikte ifade edilmiştir:

$$d_{95} = 0.725 \left[\left(\frac{\sigma}{\rho_w} \right)^3 \left(\frac{M}{P} \right)^2 \right]^{1/5} \quad (2.10)$$

Buradaki M/P birim kütledeki enerji dağılımını göstermektedir (Falvey, 1980).

2.2 Hidrolik Sıçrama

Açık kanallarda, sel rejiminden nehir rejimine geçiş hidrolik sıçrama ile meydana gelmektedir. Hidrolik sıçrama esnasındaki akım yapısı; ortama çok miktarda hava girişi, enerji kaybı, yüzey dalgaları ve saçılımlar ile oldukça şiddetli bir türbülanslı yapının gelişmesiyle karakterize edilir. Hidrolik sıçrama sırasında oluşan bu büyük ölçekli türbülans bölgesi çevri bölgesi olarak adlandırılır. Değişik araştırmacılar (Hoyt ve Sellin, 1989; Long vd., 1991) çevri bölgesindeki, türbülans çevrilerini ve sirkülasyon mekanizmasını net bir biçimde açıklamışlardır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Hidrolik sıçrama (Günel, 1992)

Şekil 2.4'de yatay kanalda oluşan hidrolik sıçrama gösterilmektedir. Burada d_1 ve d_2 sırasıyla sıçramanın başlangıcında ve sonundaki eşlenik derinliklerdir. L_r çevri uzunluğu olup sıçramanın topuğundan çevrinin bitimine kadar olan mesafedir, yani serbest yüzeydeki hızın sıfır olduğu yerdir, L_j ise sıçrama uzunluğudur, sıçramanın topuğundan hız dağılımının uniform olduğu kesite kadar olan mesafedir, yani sıçrama uzunluğu su yüzeyinin yatay konuma geldiği yere kadar olan mesafedir (Bostan, 2004).

Yatay tabanlı kanallarda hidrolik sıçrama memba Fr_1 sayısına göre şu şekilde sınıflandırılmıştır (Şekil 2.5) (Yüksel, 2000);

$Fr_1 = 1-1.7$ için dalgalı sıçrama,

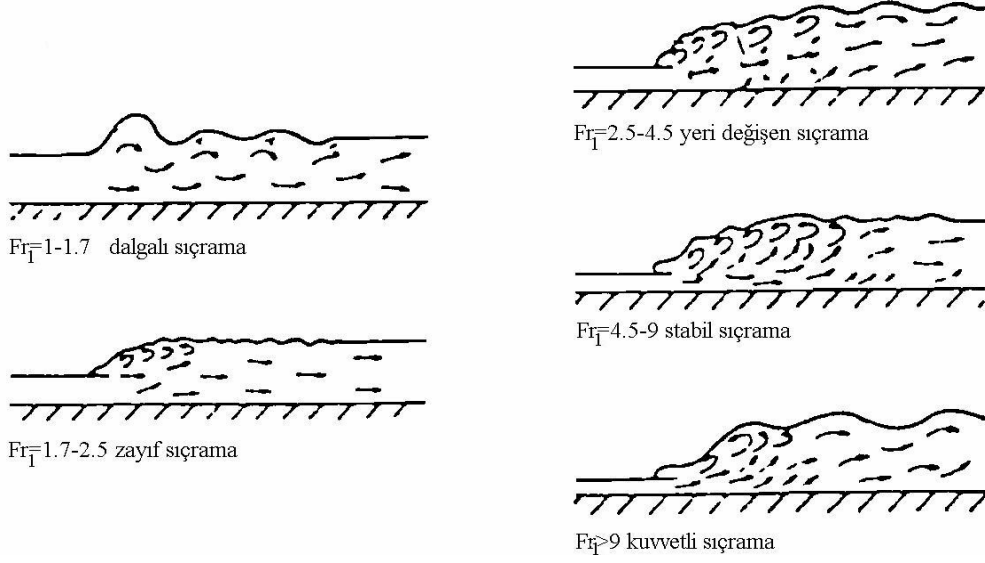
$Fr_1 = 1.7-2.5$ için zayıf sıçrama,

$Fr_1 = 2.5-4.5$ için yeri değişen sıçrama,

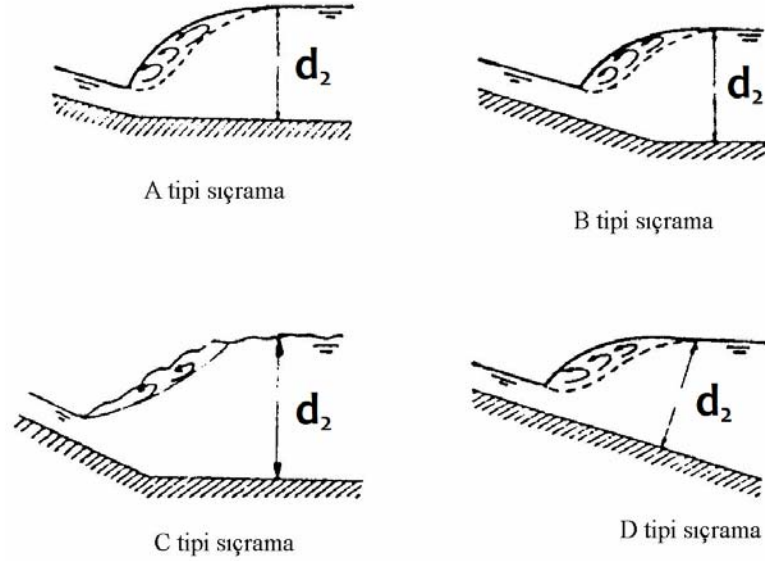
$Fr_1 = 4.5-9$ için stabil sıçrama,

$Fr_1 > 9$ için kuvvetli sıçrama.

Eğimli kanallarda ise hidrolik sıçrama Şekil 2.6’de görüldüğü gibi sınıflandırılmıştır. Akım karakteristikleri ve enerji kaybı sıçrama tipine bağlıdır (Yüksel, 2000).



Şekil 2.5 Yatay kanalda oluşan hidrolik sıçrama tipleri (Yüksel, 2000)



Şekil 2.6 Eğimli kanallarda hidrolik sıçrama tipleri (Günel, 1992)

Hidrolik yapılarda enerji kaybının önemli olmasından dolayı birçok araştırmacı hidrolik sıçrama üzerinde çalışmıştır. Genellikle deneysel araştırmalar hidrolik sıçramanın yapısıyla ilgilidir (Eşlenik derinlikler ve sıçramanın uzunluğu gibi). Hidrolik sıçramanın yapısıyla ilgili ortalama hız dağılımı, türbülans karakteristikleri ve türbülanslı sıçrama altındaki cidar basınç dağılımı araştırılmıştır. Yüzey profili üzerindeki ortalama hız dağılımının etkisi çevri ve sıçrama uzunluğunun hesaplanması için birçok araştırma yapılmıştır (Bostan, 2004).

Rajaratnam (1965, 1967, 1968) hidrolik sıçramanın yapısıyla ilgili çalışmıştır. Hidrolik sıçramanın teorik analizinde momentum ve kütle korunumu prensiplerini esas almıştır. Narayanan (1975), McCorquodale ve Khalifa (1983) ve Madsen ve Svendsen (1983) tarafından nümerik çalışmalar yapılmıştır. Sıçramanın memba ve mansabında hız dağılımı üniform ve ortalama basınç dağılımı hidrostatik kabul edilmiş ve kanal boyunca kayma gerilmesi ihmal edilmiş, böylece eşlenik derinliklerin oranı Belanger eşitliğiyle aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$\frac{d_2}{d_1} = \left(-1 + \sqrt{1 + 8Fr_1^2} \right) \frac{1}{2} \quad (2.11)$$

Bakhmeteff ve Matzke (1936), Rajaratnam (1961) ve Rajaratnam ve Subramanya (1968) hidrolik sıçramanın yüzey profilleri üzerinde çalışmışlardır. Bu araştırmacıların deneylerinin çoğu Froude sayısının 4'den büyük değerlerini içermektedir. Rajaratnam (1965) 0.3 m genişliğindeki pürüzsüz bir kanal tabanı için çevri uzunluğunu ölçmüştür. Taban basınç profilinin sıçramanın topuğu hariç ortalama yüzey profiliyle aynı olduğunu bulmuştur. Rajaratnam sıçramanın ortalama profilini aşağıdaki gibi tanımlamaktadır.

$$\frac{y - d_1}{d_2} = A_1 \left(\frac{x}{d_2} \right) + A_2 \left(\frac{x}{d_2} \right)^2 \quad (2.12)$$

Burada A_1 ve A_2 ; Fr_1 'e bağlı katsayılarıdır.

Eğimli kanaldaki hidrolik sıçramada akım yönünde etkili yerçekimi bileşeni problemi oldukça karmaşık hale getirmektedir. Sıçrama profili bilinirse yerçekimi kuvveti sıçramanın geometrisiyle tanımlanabilmektedir. Bu yaklaşım ilk kez Bakhmeteff ve Matzke (1936) tarafından kullanılmıştır.

Wielogorski ve Wilson (1970) taban eğimi 0.01'e eşit olan dikdörtgen kanallarda meydana gelen sıçrama durumunda Rajaratnam ve Subramanya (1968) ve Bakhmeteff ve Matzke'nin analizini geliştirmişlerdir. Araştırmacılar Belanger formunda eşlenik derinlikler için aşağıdaki eşitliği elde etmişlerdir.

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{1}{2} \left[\sqrt{1 + \frac{8\beta Fr_1^2}{\cos\theta - \left(\frac{2f_1 f_2 \sin\alpha}{f_1 - f_2} \right)}} \right] \quad (2.13)$$

Burada f_1 ve f_2 profil katsayıları, β hız dağılımı düzeltme faktörü ve α kanal eğimidir.

Hager ve Bremen (1989) hidrolik sıçramada eşlenik derinlik oranında cidar sürtünmesinin etkisini analiz etmişler. Araştırmacılar eşlenik derinlikler d_2/d_1 için açık bir ilişki elde etmişlerdir. d_2/d_1 eşlenik derinlik, Fr_1 memba Froude sayısının, Reynolds sayısının ve giriş oranı $w=d_1/b$ nin fonksiyonu olarak verilmektedir. Cidar sürtünme kuvvetleri nedeniyle, d_2/d_1 değerinin Belanger eşitliğiyle (2.13) verilenden daha küçük bir değer olduğu belirtilmiştir.

Garg ve Sharma (1971) Fr_1 'nin 4'den daha küçük değerleri için sıçramadaki enerji kaybının teorik değerden $(d_1-d_2)^3/4d_1d_2$ daha küçük olacağını göstermişlerdir (Bostan, 2004).

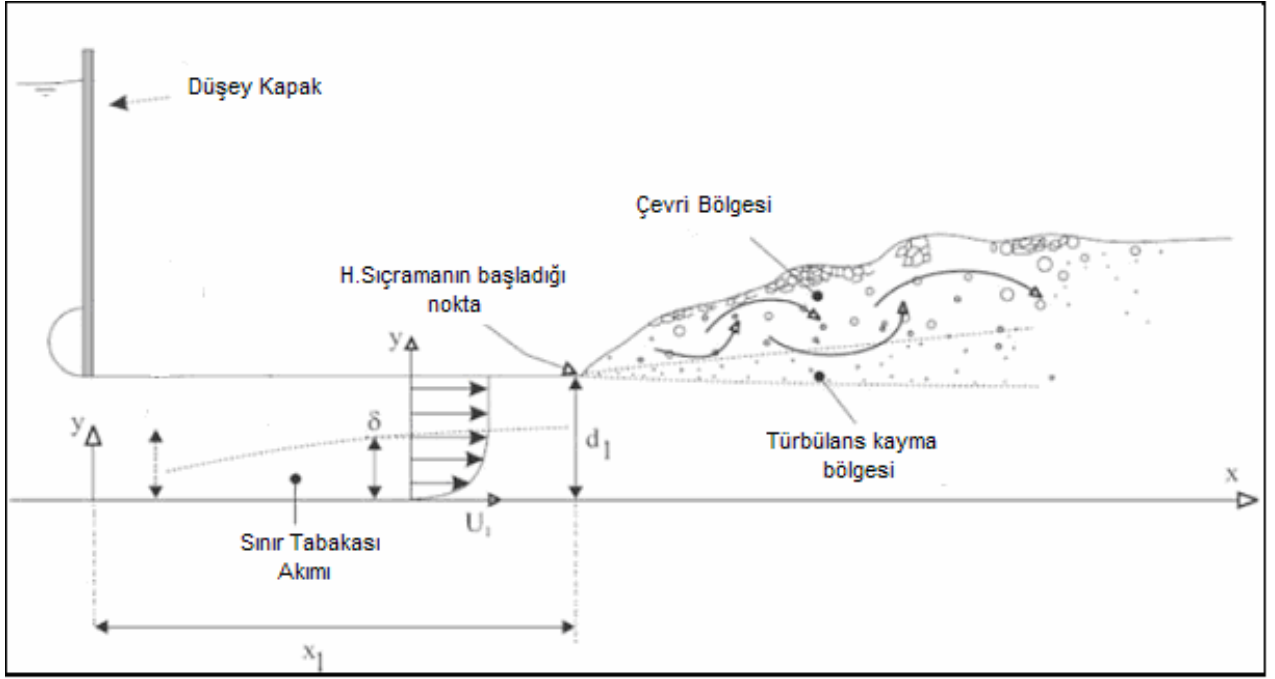
Leutheusser ve Kartha (1972) hidrolik sıçramada giriş şartlarının etkisini araştırmışlardır. Türbülans etkisi ve ortalama hız dağılımı terimlerinin sel rejimi durumunda sıçramanın ortalama akım karakteristikleri üzerindeki etkisinin belirgin olduğunu ortaya koymuşlardır. Hidrolik sıçrama uzunluğu için gelişmekte olan ve tam gelişmiş akım olmak üzere iki akım şartı göz önüne alınmıştır. Gelişmekte olan akıma ait sıçrama tipi gelişmiş kısımdan daha kısa olmakta ve daha yüksek sürtünme direncine maruz kalmaktadır. Gelişmiş akımdaki sıçramanın L_j/d_2 uzunluğu, gelişmemiş akımdaki sıçramadan %35 daha büyük olduğunu bulmuşlardır (Bostan, 2004).

Resch ve Leutheusser (1972) hidrolik sıçramada Reynolds gerilmelerini ölçmüşlerdir. Deneilerinde hot-film anemometresi kullanmışlardır. Resch vd. (1974) ve Dhaimat (1986) hidrolik sıçramanın iki fazlı yapısını dikkate alarak türbülans çalkantılarını ölçmüşlerdir.

2.2.1 Hidrolik Sıçramada Havalandırma Mekanizması

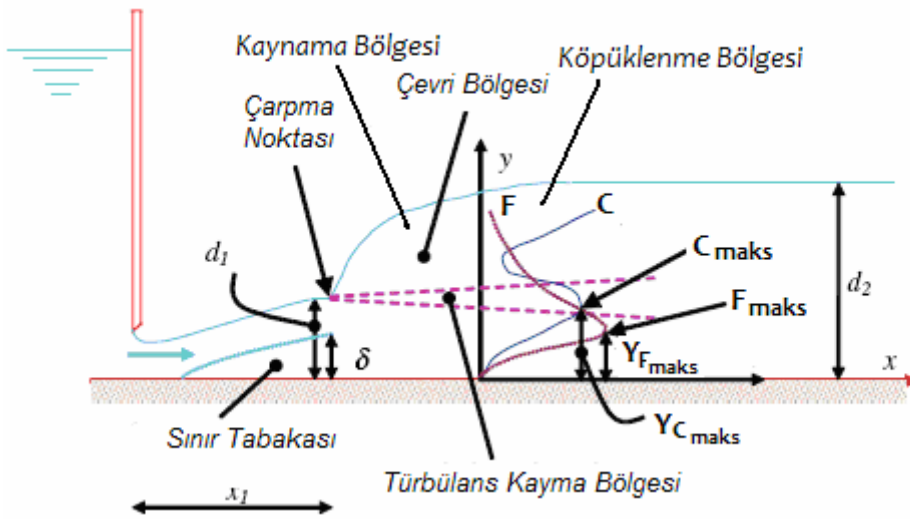
Hidrolik sıçrama, sel rejiminden nehir rejimine geçişte kritik bir düzeyin aşılmasıyla aniden meydana gelen bir olaydır. Hidrolik sıçrama en genel ifadeyle hava-su yüzeyleri arasında meydana gelen kayma bölgesinin meydana getirdiği yüksek türbülanslı ve çevrintisel bir akım olarak açıklanır. Bir diğer ifade ile ise; hidrolik sıçrama su yüzeyi akımının keskin bir şekilde değiştiği ve güçlü bir karışımın meydana geldiği, bununla beraber türbülans olayının meydana gelmesiyle suyun havalandırıldığı bir hidrolik oluşumdur (Murzyn ve Chanson, 2008).

Hidrolik sıçramada yüksek türbülansın etkisiyle meydana gelen vorteksler en çok çevri bölgesinde oluşur. Bu vorteksler serbest su yüzeyiyle sürekli etkileşim halindedirler. Bu vorteksler çevri bölgesi içerisinde gerçekleşir(Şekil 2.7). Hidrolik sıçramanın başladığı noktadan itibaren akımda önemli bir kinetik enerji kaybı meydana gelmeye başlar. Hidrolik sıçrama işlemi bu özelliğinden dolayı dere ıslah işlemlerinde düşük tesirli hidrolik düzenlemeler içerisinde kullanılabilir. Hidrolik sıçramayla akımın toplam enerji kaybı artırılmaya çalışılarak, akımın taşkın riski azaltılmaya çalışılır (Murzyn ve Chanson, 2008).



Şekil 2.7 Hidrolik sıçrama ve çevri bölgesi (Murzyn ve Chanson, 2008)

Hidrolik sıçramada havalandırma işleminin gerçekleşmesi esnasında üç bölge oluşur. Bu bölgeler Şekil 2.8'de gösterilen çevri bölgesi ve türbülans kayma bölgelerini kapsayacak şekilde oluşur (Gualtieri ve Chanson, 2007).



Şekil: 2.8 Türbülans kayma bölgesi ve sınır tabakası (Gualtieri ve Chanson, 2007)

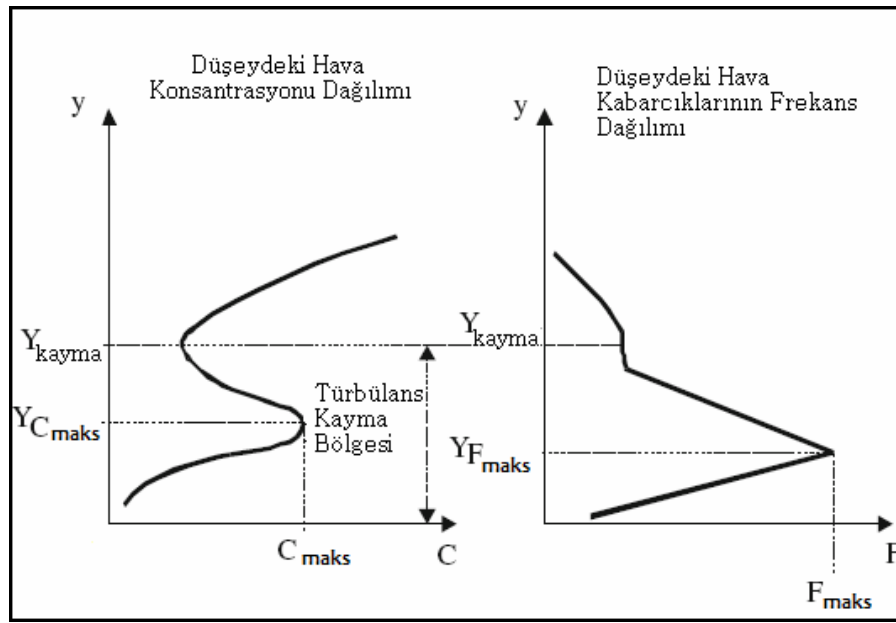
Türbülans Kayma Bölgesi: Yatay difüzyon alanının oluştuğu yüksek hava içerikli küçük hava kabarcıklarının bulunduğu bölgedir.

Kaynama Bölgesi: Büyük ölçekli çevrıntiler sonucu hava kabarcıklarının kaynaştığı görülür.

Köpüklenme Bölgesi: Çok yüzlü ve düzgün yüzeyli olmayan yapıların oluştuğu serbest su yüzeyidir.

Gualtieri ve Chanson (2007)'a göre hava, hidrolik sıçramanın çevrintisinin akıma vurduğu yerden katılarak türbülans kayma tabakasına geçer. Bu kayma tabakasında yüksek şiddette türbülanslı akım meydana gelir. Bu bölümde hava, yüksek türbülans nedeniyle küçük hava kabarcıklarına ayrılır. Maksimum hava konsantrasyonuna ulaşılır. Yatay olarak hareket eden bu hava kabarcıkları kayma gerilmelerinin çok olduğu yerden az olduğu yere doğru hareket ederler. Kayma gerilmelerinin azalmasıyla hava kabarcıkları birbirlerine yaklaşırlar ve birleşerek büyük hava kabarcıklarını oluştururlar. Bu oluşan daha büyük hava kabarcıkları da kaldırma kuvvetlerinin etkisinde kaynama ve köpüklenme bölgelerine doğru hareket ederler.

Hidrolik sıçramada suyun havalandırılması sırasında düşeydeki hava konsantrasyonu ve hava kabarcıklarının frekansı incelenmiştir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 Düşeydeki hava konsantrasyonu ve hava kabarcıklarının frekans dağılımı (Murzyn ve Chanson, 2008)

Murzyn ve Chanson (2008)'a göre düşeydeki hava konsantrasyonu iki farklı bölgeden oluşur. Bunlardan ilki tabandan başlamak üzere doğrusal eğriler boyunca artış gösteren eğrisel bölümdür. Bu bölge aynı zamanda hava-su difüzyon denkleminin eğrisine eşittir. Bu bölgenin ismine türbülans kayma bölgesi adı verilir. İkinci bölge ise türbülans kayma bölgesinden başlar. Bu bölgede artık hava konsantrasyonunun düşey dağılımı, türbülans kayma bölgesindeki difüzyon etkilerinden daha çok su yüzeyinde meydana gelen genliği sabit olmayan dalgalanmaların etkisindedir.

Maksimum hava konsantrasyonu olan C_{maks} hidrolik sıçramada türbülans kayma tabakası içinde oluşması için akımın kısmen gelişmiş iç akım koşullarında olması gerekir.

Hava kabarcıklarının maksimum frekansı olan F_{maks} türbülans kayma bölgesinde oluşur. Hava kabarcıklarının düşey doğrultudaki frekans dağılımında iki adet pik noktası vardır. Bunlardan biri F_{maks} olan ve türbülans kayma bölgesinde oluşan piktir. Diğeri ise serbest su yüzeyine yakın bir bölümde oluşan F_{maks} 'a göre küçük olan piktir (Murzyn ve Chanson, 2008).

Kısmen gelişmiş iç akım koşullarında ve her Froude sayısında maksimum hava konsantrasyonunun düşey yüksekliği yani Y_{Cmaks} , hava kabarcıklarının maksimum frekansı düşey yüksekliği Y_{Fmaks} 'dan büyüktür (Murzyn ve Chanson, 2008).

Hidrolik sıçramada çevri bölgesinin büyüklüğü arttıkça suya giren havanın hacmi de artmaktadır. Yapılan gözlemlerden elde edilen sonuçlara göre; maksimum çevrinin yüksekliği mansap bölgesindeki su derinliğinden % 10-20 daha büyüktür. Tabi ki bu büyüklük Froude sayısına ve akımın koşullarına göre de değişmektedir (Gualtieri ve Chanson, 2007).

İç akım koşullarındaki kısmi gelişmiş hidrolik sıçramada türbülans kayma bölgesinde meydana gelen maksimum hava konsantrasyonu C_{maks} , hava kabarcıklarının türbülans kayma bölgesinde yatayda difüzyon hareketi yaptıkları uzunluğun artmasıyla düşer (Gualtieri ve Chanson, 2007).

Gualtieri ve Chanson (2007)'a göre hava konsantrasyonunun dağılımı ile hava kabarcıklarının frekans dağılımının birbirleriyle örtüşmemesinin sebebi, hava kabarcıklarının ve havanın kendi momentumunun farklı oranlarda ve farklı ortamlarda gerçekleşmesinden kaynaklanmaktadır. $y < Y_{Cmaks}$ için verilen düşey yüksekliklerde hava kabarcıklarının frekansı hava konsantrasyonundan büyüktür. Aynı zamanda bu örtüşmemenin sebebi olarak da türbülans kayma bölgesindeki yüksek kayma gerilmeleri ve büyük türbülans hızları gösterilebilir.

Murzyn ve Chanson (2008)'a göre yapılan deneysel çalışmalar sonucunda hidrolik sıçramada elde edilen C hava konsantrasyonu en genel ifade ile (2.14) eşitliğinde verilmiştir.

$$C = C_{maks} \exp \left(\frac{\left(\frac{y - y_{Cmaks}}{d_1} \right)^2}{4D^* \left(\frac{x - x_1}{d_1} \right)} \right) \quad (2.14)$$

Buradaki D^* boyutsuz türbülans yayılım katsayısıdır. Maksimum hava konsantrasyonunun düşeydeki yüksekliği (2.15) eşitliğinde verilmiştir.

$$\frac{y_{C_{maks}}}{d_1} = 1 + 0.11 \left(\frac{x - x_1}{d_1} \right) \quad (2.15)$$

Maksimum hava konsantrasyonu ise Murzyn ve Chanson (2008)'a göre yapılan deneysel çalışmalar sonucunda (2.16) eşitliğinde verilmiştir.

$$C_{maks} = 0.07 Fr_1 \exp(-0.064 \frac{x - x_1}{d_1}) \quad (2.16)$$

Maksimum hava konsantrasyonu ise havalandırma uzunluğunun artmasıyla artmaktadır. Büyük hava kabarcıklarının sayımı hidrolik sıçramanın topuk bölgesinde yapılmıştır fakat genelde en büyük hava kabarcıklarına serbest su yüzeyine yakın bölümlerde rastlanmıştır. F_{maks} da (2.17) eşitliğinde verilmiştir.

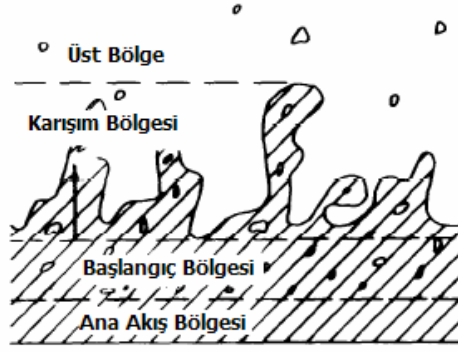
$$\frac{F_{maks} d_1}{U_1} = 0.117 Fr_1 \exp\left(-0.0415 \left(\frac{x - x_1}{d_1} \right)\right) \quad (2.17)$$

Küçük hava kabarcıklarına genelde $y < Y_{C_{maks}}$ aralığında rastlanmaktadır. Havalandırma uzunluğunun artmasıyla F_{maks} azalmaktadır. Bunun dışında akımın hızının artmasıyla F_{maks} değeri büyümektedir (Murzyn ve Chanson, 2008).

2.3 Savaktan Akan Suyun Havalandırılması

Savaktan veya aşağıya doğru dikey bir yapı üzerinde açık kanalda akan su türbülans etkisiyle havalandırma işlemine tabi tutulur. Bu havalandırma işlemi düşeyde akımı dört ayrı bölüme oluşturur. Bu bölümlerinin oluşması için geniş kanal kabulü yapılmıştır. Bu geniş kanal kabulüne göre kanalın genişliği kanalın derinliğinden en az 5 kat kadar büyük olması gerekir. Bu dört bölüm Şekil 2.10'da (Falvey, 1980)'e göre verilmiştir.

- 1-) Üst Bölge
- 2-) Karışım Bölgesi
- 3-)Başlangıç Bölgesi
- 4-) Ana Akış(Gerçek) Bölgesi



Şekil 2.10 Savaktaki akımın düşeyde oluşturduğu bölgeler (Falvey, 1980)

2.3.1 Üst Bölge

Karışım bölgesinden dışarıya doğru fırlayan ve sıçrayan su damlacıklarının oluşturduğu bölgedir. Gözle görülür bir biçimde bu bölgedeki su damlacıkları ortalama su yüzeyinden yukarıya doğru yükselme eğilimindedirler. Bu bölge havalandırma açısından ihmal edilir.

2.3.2 Karışım Bölgesi

Bu bölüm belli bir genliği ve frekansı olmayan dalgaların oluşturduğu bir yüzeye sahiptir. Su yüzeyinin havayla temasının arttığı bu bölümde hava ve suyun karışımı başlar. Yani hava taneciklerinin suyun içine doğru difüzyonu bu bölümde gerçekleşir. Yüzeyde oluşan maksimum dalga yüksekliği kanalın yan duvarlarının yüksekliğine bağlı olarak değişir.

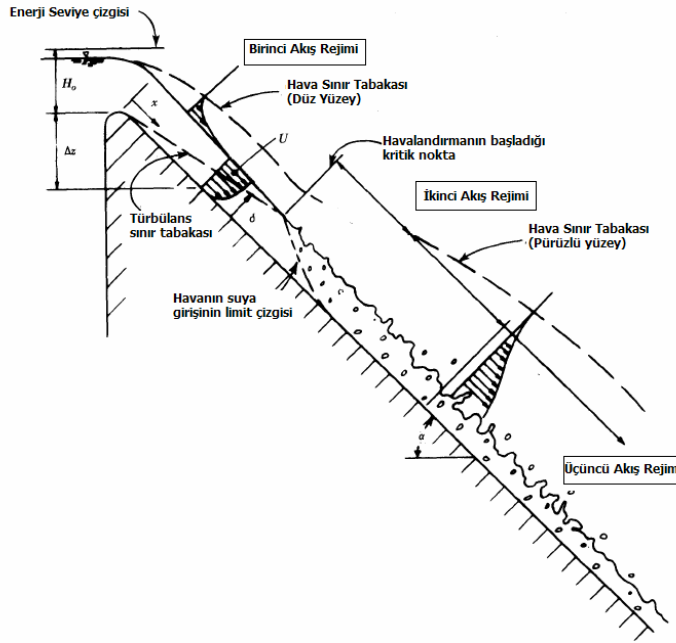
2.3.3 Başlangıç Bölgesi

Karışım bölgesinde meydana gelen dalgalanmalar ve oluşturduğu çukurlar sonlanır. Bu bölümde hava kabarcıkları gözle görülür. Ve herhangi bir derinlikteki hava konsantrasyonu o derinlikteki hava kabarcıklarının sayısı ve büyüklüğüyle değişir. Bu bölgedeki hava konsantrasyonu, türbülansın şiddetinin artmasıyla artar. Bu bölgede meydana gelen türbülans sınır tabakası yardımıyla hava konsantrasyonunun akım içindeki dağılımı açıklanmaktadır.

2.3.4 Ana Akış Gerçek Bölgesi

Havalandırma işleminin sonlandığı hava kabarcıklarının tamamının veya tamamına yakınının kaybolduğu suyun havayla tamamen doygun hale geldiği bölümdür. Teorik olarak başlangıç bölgesiyle bir sınırla ayrıldığı kabul edilir fakat bunu çoğu zaman gözlemlemek imkânsızdır.

Fakat tam bu sınır bölgesinde artık hava konsantrasyonunun değişimi azalır ve derinlere yani ana akış gerçek bölgesinin içlerine doğru inildikçe bu değişim ihmal edilecek düzeylerde olur. Yine bu geniş kanalda savaktan veya dikey yönde aşağıya doğru akan suyun havalandırılması sırasında ise yatayda akış üç farklı rejimden oluşur (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 Savaktaki akımın yatayda oluşturduğu üç farklı rejim (Falvey, 1980)

İlk akış rejimi olarak, suyun savaklanmaya başladığı andan itibaren turbülans sınır tabakasının su yüzeyiyle birleştiği yer olarak tabir edilen kritik noktaya kadar ki bölümdür. Bu bölümde havalandırma işleminden söz edilemez. Bunun sebebi de bu turbülans sınır tabakasının su yüzeyiyle birleşmemesidir. İkinci akış rejimi, kritik noktadan başlamak üzere suyun köpüklenmesiyle birlikte havalandırılmasının başladığı bölümdür. Hava konsantrasyonunun derinlikle gelişen profili bu bölümde akımın yatay doğrultudaki uzaklıklarında sabit değildir. Çünkü havalandırma işlemi devam etmekte ve suyun havalandırma işlemindeki doygunluk seviyesine daha ulaşılamamıştır. Üçüncü akış rejimi ise havalandırma işleminin bittiği ve hava konsantrasyonunun derinlikle gelişen profilinin akımın yatay doğrultudaki uzaklıklarında sabit olduğu bölümdür (Falvey, 1980).

2.3.5 Geniş Açık Kanalda Suyun Havalandırılmasında Kullanılan Parametreler

Geniş kanal kabulü yapılmış açık kanal akımlarında savaklanan veya düşey doğrultuda akan suların havalandırılma işlemlerinde bazı parametreler önem kazanmaktadır. Bunlardan ilki, havalandırmanın başladığı kritik noktanın akımın başlangıcına olan uzaklığı olarak kabul edilen L_c 'dir (Falvey, 1980).

Türbülans sınır tabakasının su yüzeyiyle birleştiği nokta olan kritik nokta için türbülans sınır tabakasının kalınlığı (2.18) eşitliğiyle verilmiştir (Falvey, 1980).

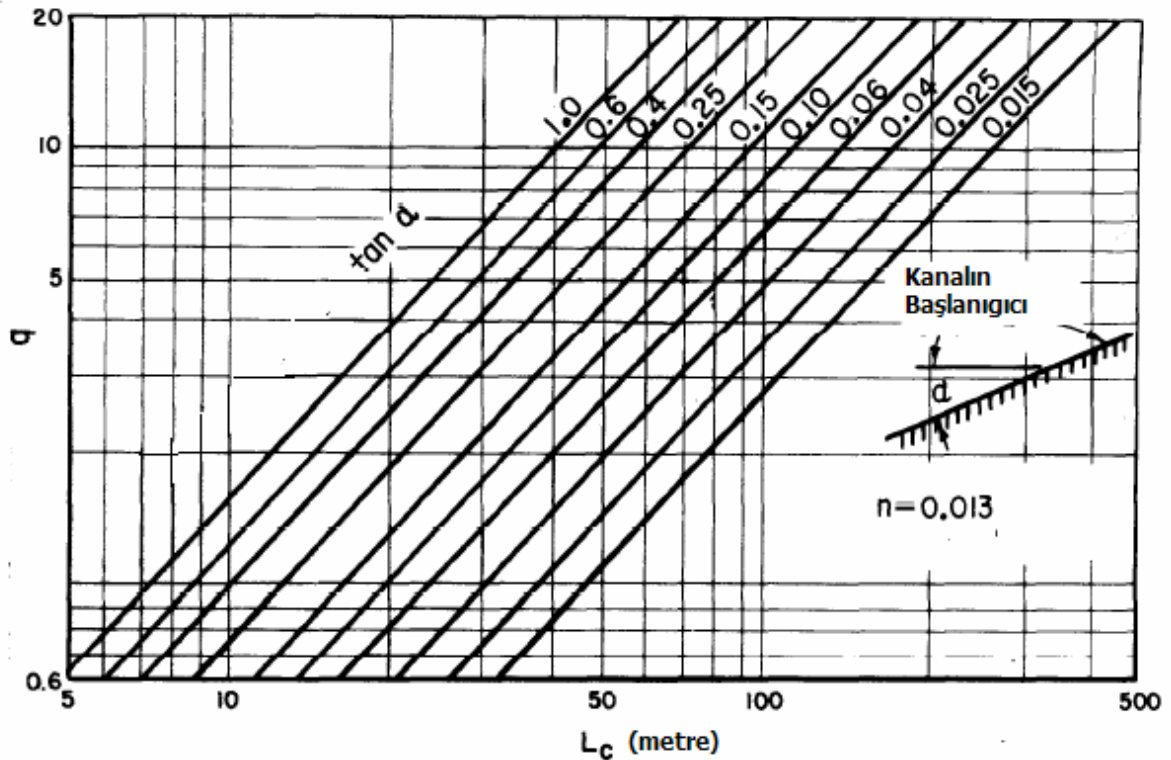
$$0.01 \leq \frac{\delta}{x} \leq 0.016 \quad (2.18)$$

Buradaki δ türbülans sınır tabakasının kalınlığını göstermektedir. x ise bu sınır tabakasının artmaya başladığı noktadan itibaren yatay uzaklık olarak kabul edilmektedir (Falvey, 1980).

$$L_C = 14.7q^{0.53} \quad (2.19)$$

L_C uzaklığının ifade edildiği (2.19) eşitliğinde q ise birim debidir. Açık kanalın eğimi ve Manning pürüzlülük katsayısı biliniyorsa birim debi yardımıyla da L_C uzaklığı Şekil 2.12'den elde edilebilir (Falvey, 1980).

Bir diğer parametre, havalandırma işleminin bittiği ve hava konsantrasyonu profillerinin akımın her noktasında sabit olduğu yerin uzunluğudur. Bu konuda detaylı bir çalışma yapılmamıştır fakat bu kısmın uzunluğu olarak hava konsantrasyonunun akım içinde % 95 olduğu yer olarak kabul edilmektedir (Falvey, 1980).



Şekil 2.12 L_C kritik uzunluğunun birim debi ve kanal eğimiyle bulunması (Falvey, 1980)

Akım içindeki havalandırma konsantrasyonu da dikkat çeken en önemli parametre olarak (2.20) eşitliğinde verilmiştir.

$$\bar{C} = \frac{\omega_a}{\omega_a + \omega_w} \quad (2.20)$$

Buradaki ω_a akım içindeki hava hacmi; ω_w akım içindeki su hacmidir.

Akım içindeki su hacmi pitot tüpüyle ölçülmektedir. Bu pitot tüpüyle yapılan ölçümlerde başlangıç bölgesindeki hava hacminin oranı bulunmaktadır. Karışım bölgesindeki hava hacminin de ortalama hava konsantrasyonu içinde değerlendirilmesi için aşağıdaki gerçek hava konsantrasyonunu veren (2.21) eşitliği verilmiştir (Falvey, 1980).

$$C_a = \frac{C_m - 1 + P_w}{P_w} \quad (2.21)$$

C_m , pitot tüpüyle ölçülen hava konsantrasyonunu; P_w ise karışım bölgesindeki dalgaların arasındaki hava konsantrasyonu olarak alınır.

2.4 Basamaklı Yapılarda Oksijen Transferi

Savakların akımı bir yerden diğer bir tarafa aktarması dışında ekolojik açıdan da suyun havalandırılmasında büyük önemi vardır. Havadan suya geçen oksijen transferi, basamaklı veya basamaksız savak olsun akımın mansap kısmında gerçekleşir. Savakların yapılış şekli ve tipi havalandırma verimliliğini etkileyen önemli parametrelerdendir (Aras ve Berkun, 2010).

Chanson (1994)'a göre savaklardaki akımın havalandırılması; savaklanan suyun debisine, derinliğine ve savaklanma süresine bağlıdır. Savaklardaki ve kanallardaki suyun ekolojik yönden değerli hale gelmesi içeriğindeki oksijen ve nitrojen miktarının uygun seviyelere gelmesiyle gerçekleşir

Basamaklı yapılardaki suyun akımı; yüksek türbülansa sahip akış olarak tarif edilir. Türbülanslı akış hızı; yatay uzaklıktaki hava-su serbest yüzeyine etki ederek suyun oksijen kazanmasını sağlar. Oksijen su yüzeyi boyunca, bir yandan tutulur bir yandan serbest bırakılır. Havalandırma işlemi, türbülans kinetik enerjisinin, serbest yüzey gerilmelerinin ve yerçekimi etkilerinin üstesinden gelecek kadar büyük olması durumunda gerçekleşir (Chanson, 1994).

Türbülans hızı olan V' aşağıdaki (2.22) ve (2.23) eşitliklerinin her ikisini de sağlaması durumunda savaklanan suda havalandırma işlemi gerçekleşir (Chanson, 1994).

$$V' > \sqrt{\frac{8\sigma}{\rho_w d_{ab}}} \quad (2.22)$$

$$V' > U_r \cos \alpha \quad (2.23)$$

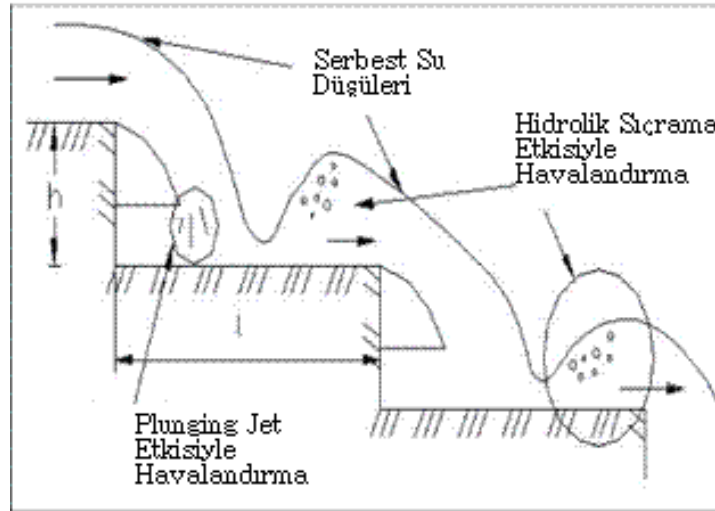
d_{ab} hava kabarcığının çapı, U_r hava kabarcığının yükselme hızı ve α kanalın eğimidir. Basamaklı yapılarda akım rejimi ikiye ayrılır:

1-) Nap Akım Rejimi

2-) Skimming Akım Rejimi

2.4.1 Nap Akım Rejimi

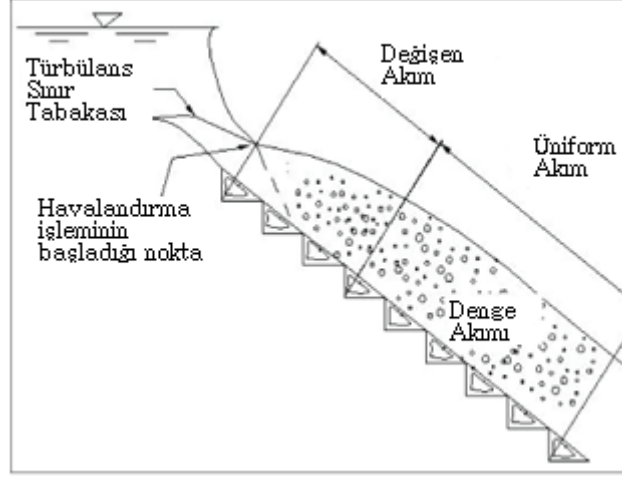
Düşük debiye sahip akım koşullarında basamakların birinden diğerine küçük düşüler oluşturan akım rejimine Nap Akım Rejimi adı verilir (Şekil 2.13). Nap akım rejimine sahip basamaklı bir yapıdaki akan suda havalandırma işlemi iki farklı hidrolik oluşum yardımıyla gerçekleşir. Derin havuzlu basamaklı yapıya sahip Nap akım rejiminde; havalandırma işlemi plunging jetiyle gerçekleşir. Düz veya havuzu sığ olan basamaklı yapılarda ise havalandırma işlemi genelde hidrolik sıçrama ile gerçekleşir (Berkun ve Aras, 2010).



Şekil 2.13 Nap Akım Rejimi (Berkun ve Aras, 2010)

2.4.2 Skimming Akım Rejimi

Yüksek debiye sahip akım koşullarında akım basamaklar üzerinde düz ve süreklilik arz edecek şekilde akar. Bu akım rejimine Skimming Akım Rejimi adı verilir (Şekil 2.14).



Şekil 2.14 Skimming Akım Rejimi (Berkun ve Aras, 2010)

Berkun ve Aras (2010)'a göre basamakların uç noktaları üzerinde yatayda akım düzlemine paralel zahiri bir akım tabanı oluşur. Bu zahiri akım tabanı ile basamaklar arasında kapalı devre çevrintiye sahip vorteksler oluşur.

Skimming akım rejiminde havalandırma işlemi, türbülans sınır tabakasının su yüzeyiyle birleştiği noktadan itibaren başlar. Türbülans böylelikle suyun yüzeyden havalandırılmasını sağlar. Havalandırma işleminin başlamasıyla birlikte, su hızlı bir şekilde oksijen kazanımına başlar ve su yüzeyi köpüklenme ile beyaz bir görünüm alır. Skimming akım rejiminde mansabın bir bölümünde akımın derinliği, hızı ve hava konsantrasyonu değişimi sabit kalır. Bu bölüm skimming akım rejiminde üniform akışa sahip dengeli akım olarak adlandırılır.

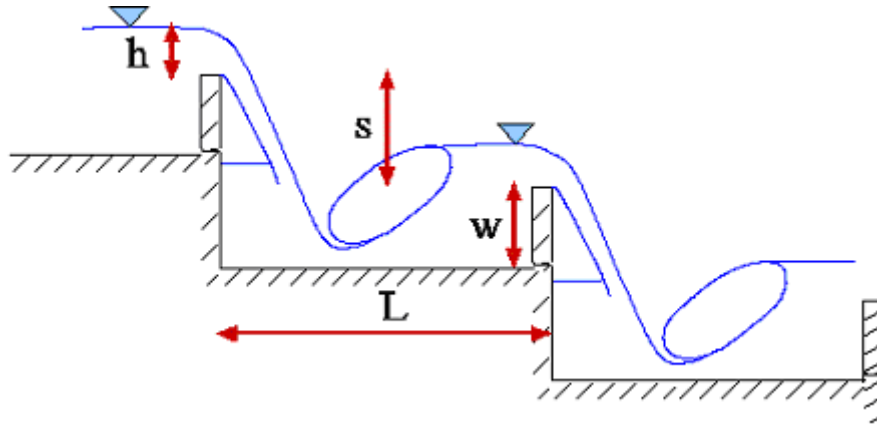
Savak ve kanalların tasarımında, suyun içine transfer olan oksijen miktarının önemi büyüktür. Havalandırma işlemi, akımın içine giren havanın hacmiyle doğru orantılı olarak gerçekleşir. Havalandırma işlemi sırasında akımın hacmi büyür ve bu yüzden de savağın oluşunun yan duvarlarının yüksekliği buna göre dizayn edilir.

Türbülans sınır tabakası içerisinde bulunan hava, akım tabakaları arasındaki kayma gerilmelerini azaltır. Basamaklı savaklar üzerinde yüksek hıza sahip akımlarda, kavitasyon riskine bağlı erozyon önlenmeye çalışılır. Akımın hızının düşürülmesi ve derinliğinin artırılmasıyla kavitasyona bağlı erozyon riski düşer. Basamaklı veya düz yüzeyli savaklarda, yüksek enerji kaybı akımın momentumunu düşürme eğilimindedir (Berkun ve Aras, 2010).

2.4.3 Düşü Havuzlu Basamaklı Yapıların Tasarımı

Basamaklı yapılar suyun bir bent üzerinden aktarılmasında veya dik bir eğime sahip akışın mansaba aktarılmasında kullanılır. Sıra sıra basamaklar halinde inşa edilen bu yapılar; akımın hidrolik enerjisinin azaltılmasında ve skimming akım rejiminden kaynaklanan taşmaların önüne geçmek için kullanılır. Basamaklı yapılarda hava-su karışımları meydana gelerek suyun havalandırılması sağlanır. Eğer basamaklı yapılarda küçük havuzlar meydana getirilerek inşa edilirse bu basamaklı yapılar düşü havuzlu basamaklı yapılar olarak adlandırılır (Şekil 2.15).

Basamaklı yapılar aşamalı bir şekilde akımın kinetik enerjisinin düşürülmesini sağlarlar. Bu yapılar bu etkilerinden dolayı genelde baraj savaklarında ve kanalizasyon sistemlerinde güvenli bir boşaltım sağlanması için kullanılırlar. Aynı zamanda basamaklı yapılar, dere ve nehirlerin parklar içinden geçen bölümlerinde doğayla uyumlu görsellik kazandırılması için kullanılırlar (Aigner, 2001).



Şekil 2.15 Düşü Havuzlu Basamaklı Yapı (Aigner, 2001)

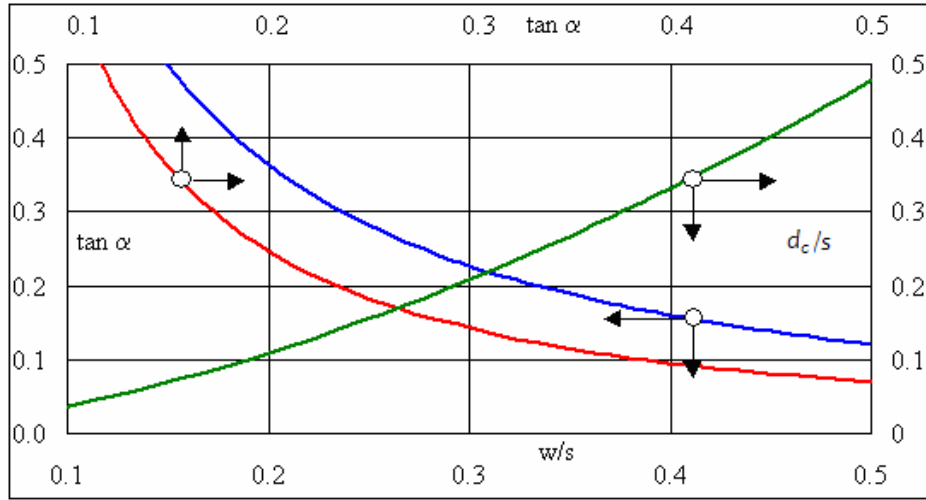
Aşağıdaki Şekil 2.16'daki grafik yardımıyla akımın eğimi $\tan \alpha = s/L$ ve aşağıdaki (2.24) eşitliğindeki d_c yardımıyla s basamak yüksekliği ve düşü havuzunun derinliği w elde edilir.

$$d_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \quad (2.24)$$

Birim debi q, (2.25) eşitliğinde savak katsayısı dikkate alınarak hesaplanır (Aigner, 2001).

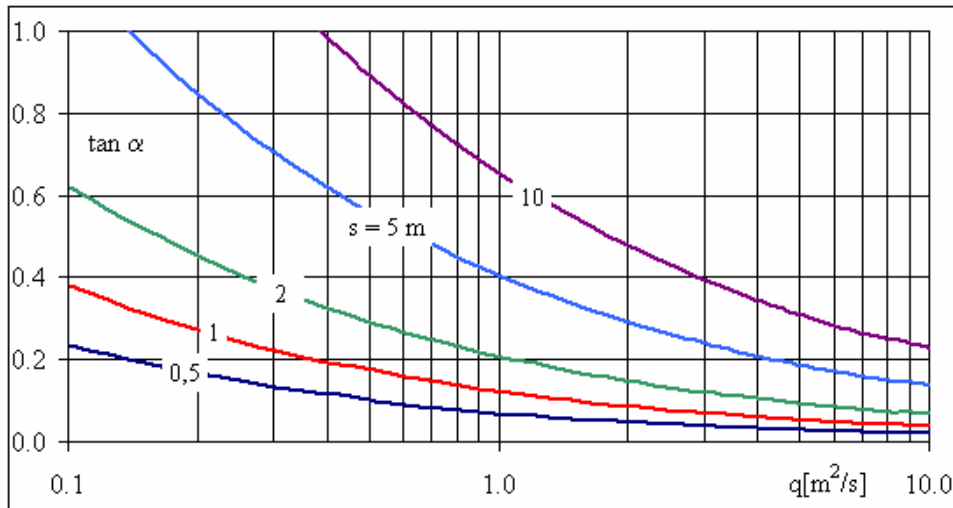
$$q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2gh}^{3/2} \quad (2.25)$$

Buradaki h savaklanma yüksekliğidir.



Şekil 2.16 Basamak yüksekliği ve düşü havuzunun derinliğinin belirlenmesi (Aigner, 2001)

Akımın eğimi ve s basamak yüksekliği biliniyorsa düşü havuzlu basamaklı yapıdan geçebilecek akımın birim debisi Şekil 2.17'deki grafik yardımıyla elde edilebilir.



Şekil 2.17 Akımın eğimi ve basamak yüksekliğinden birim debinin belirlenmesi (Aigner, 2001)

Basamakların uzunluğu ise eşitlik (2.26)'dan hesaplanır (Aigner, 2001).

$$L = L_s + L_w \quad (2.26)$$

Buradaki L_s akımın basamaklardan düşüş uzunluğu, (2.27) eşitliğinden hesaplanır.

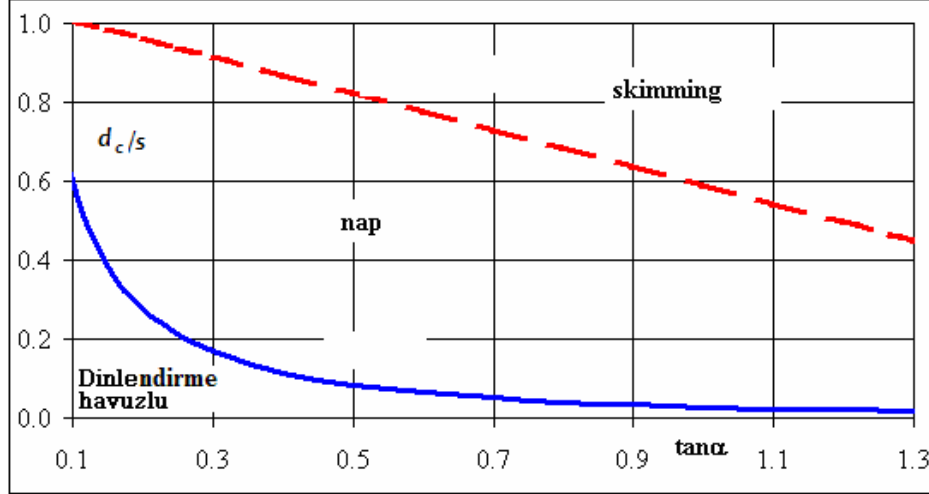
$$L_s = 1512 \left(\frac{w + h_s}{h} \right)^{0,556} h \quad (2.27)$$

L_w ise hidrolik sıçramanın uzunluğu, (2.28) eşitliğinden bulunur.

$$L_w = 6h_2 \quad (2.28)$$

Buradaki h_2 ; Hidrolik sıçramadan sonraki akımın derinliğidir.

Yukarıdaki parametreleri bilinen basamaklı bir yapıda akımın rejimi aşağıdaki Şekil 2.18'deki grafik yardımıyla bulunabilir.



Şekil 2.18 Akımın rejiminin akımın eğimi ve d_c/s yardımıyla bulunması (Aigner, 2001)

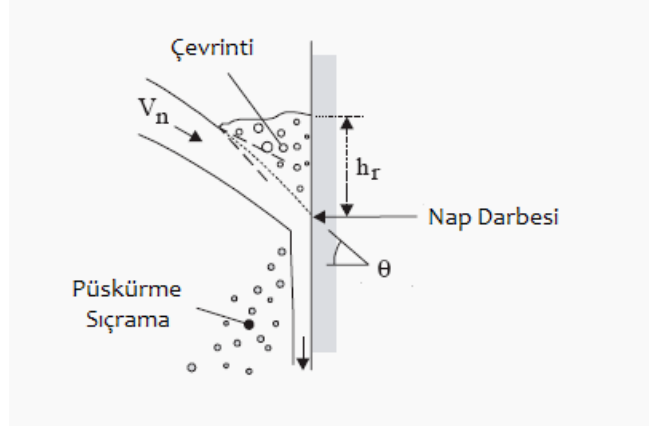
2.5 Şaft İçinde Serbest Düşü Yapan Su Jetinin Oksijen Transferi

Suya serbest düşü yaptırılarak, enerjisinin azaltılması sağlanır. Bu enerji azalımından dolayı genelde drenaj mühendisliği uygulamalarında kullanılmaktadır (Şekil 2.19) ve (Şekil 2.20).

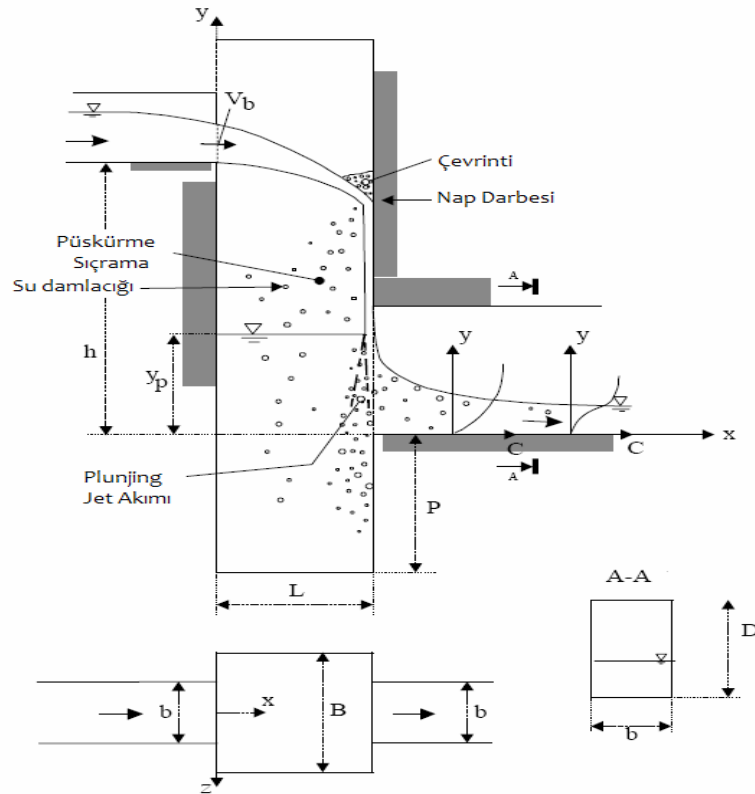


Şekil 2.19 Şaft içinde serbest düşü yapan su jeti (Chanson, 2007)

Yüksek debili akımda ($0.0046 < d_c/h$) şartlarında suyun düşüşü esnasında karşı duvara vurur. Bu jetin vurmasıyla akım buradan aniden yön değiştirir; fakat yerçekimin de etkisiyle burada çevrinti bir akım meydana gelir. Bu çevrintinin ağırlığından dolayı akımın momentum akısındaki değişimleri dengelemek için düşey kuvvetler oluşur (Şekil 2.21) (Chanson, 2007).



Şekil 2.20 Nap darbesinin şematik gösterimi(Chanson, 2007)



Şekil 2.21 Şaft içinde serbest düşü yapan su jetinin şematik gösterimi (Chanson,2007)

Çevrintinin yüksekliği h_r ve nap darbesinin θ doğrultu açısı (2.29) ve (2.30) eşitlikleri yardımıyla bulunur (Renner, 1975).

$$h_r = \sqrt{2 \frac{qL}{V_b} \left(\sqrt{1 + \frac{gL}{V_b^2}} - 1 \right)} \quad (2.29)$$

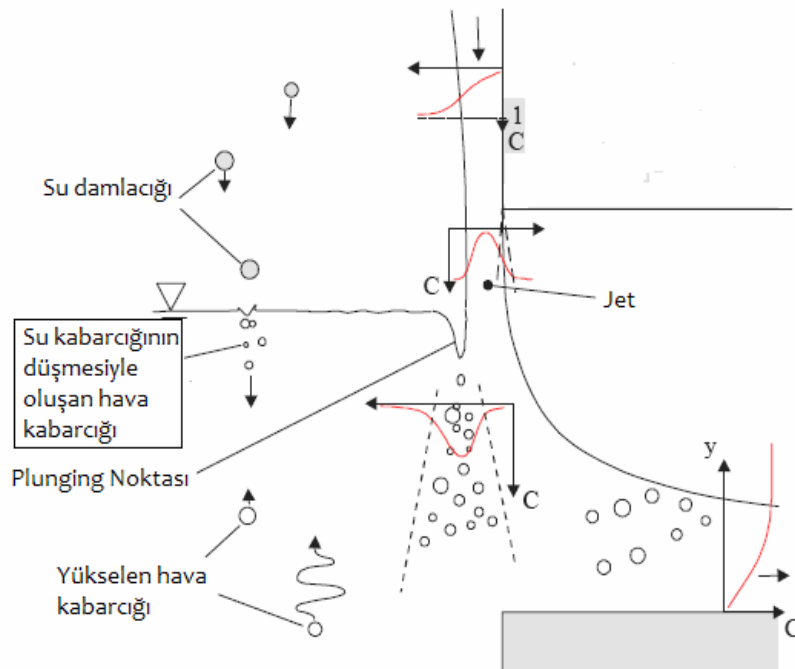
$$\tan \theta = \frac{gL}{V_b^2} \quad (2.30)$$

Akım karşı duvara jet akımı halinde vurmasıyla su damlacıkları oluşur ve bunlarda yerçekiminin etkisiyle yağmur yağışi halinde aşağıya doğru serpilir. Bu su damlacıklarının düşü havuzuna düşmesiyle suyun oksijen kazanması sağlanır (Şekil 2.22).

Çevrintinin büyüklüğü ve sıçrayan-püsküren suyun miktarı suyun nap darbesinin karşı duvarla yapmış olduğu açının (θ) azalmasıyla artmaktadır (Chanson, 2007).

$d_c/h < 0.10$ şartlarında nap darbesinden sonra akım jet şeklinde düşü havuzuna çarpar. Bu çarpma plunging tipi dalma şeklinde gerçekleşir. Suyun oksijen kazanımının önemli bir kısmı burada gerçekleşir (Chanson, 2007).

Serbest düşü havuzunda akım türbülanslı ve üç boyuta sahiptir. Büyük ölçekli kaynaşık akımlar gözle görülmektedir. Bunlarda genelde vorteksler ve eddyler olarak görülmüştür. Düşü havuzunun serbest su yüzeyi ise sürekli dalgalanma halindedir.



Şekil 2.22 Su jetinin düşü havuzuna çarpması (Chanson, 2007)

Bu şekilde serbest düşü yaptırılarak suyun oksijen kazanımını etkileyen en güçlü parametreler; çıkış akımının geçtiği kanalın küçük olması ve suyun düşü havuzu serbest su yüzeyine jet olarak çarpmasıdır.

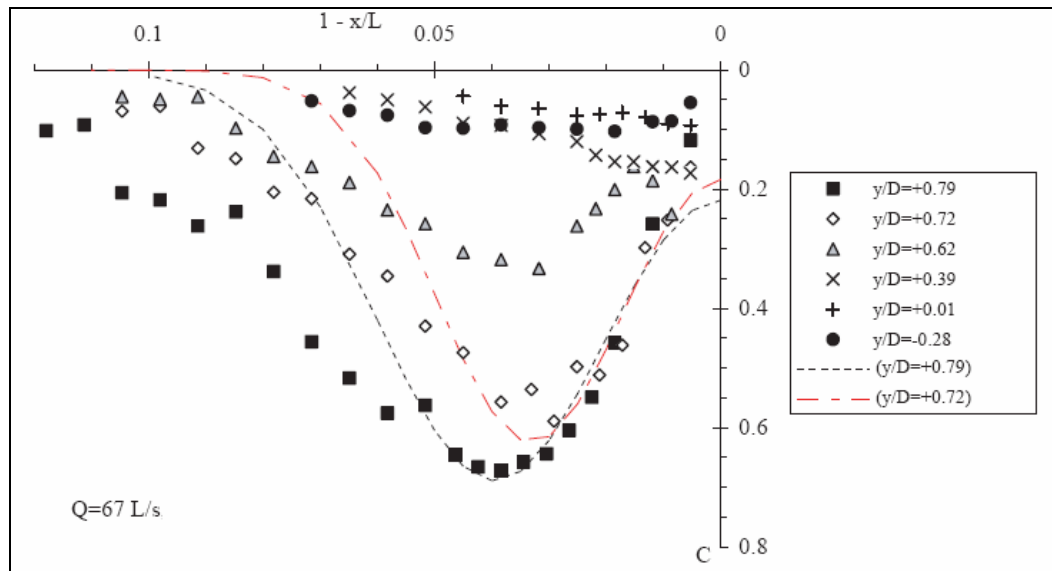
Çıkış kanalında akım kritik durumdadır. Ve buradaki akım yüksek bir şekilde havalandırılmıştır. Çıkış kanalında şok dalgaları ve yan duvarlardan kaynaklanan dalgalar tüm akım koşullarında görülürler (Chanson, 2007).

2.5.1 Hava Konsantrasyonunun Dağılımı

$0.3 < y/D < y_p/D$ şartlarında akımın hava konsantrasyonu dikkate alınmıştır. Chanson'a (2007) göre:

- $y/D < 0$ şartlarında oluşan düşü havuzunda oluşan hava kabarcıkları vorteks yapıları tarafından yakalanır ve suyun havalandırılması engellenmiş olur.
- $y/D > 0$ şartlarında hava kabarcıkları mansap tarafında meydana gelir. Ve suyun havalandırılması bu hava kabarcıkları sayesinde gerçekleşir.
- Deneysel çalışmalar göstermiştir ki tüm akım koşullarında yüksek hava konsantrasyonu değerleri $y/D > 0,7$ şartlarında elde edilmiştir (Şekil 2.23).

Serbest düşünün plunging tipi düşü havuzuna dalmasıyla suyun havalandırılması; hidrolik sıçramanın çevri bölgesindeki suyun havalandırılmasına benzemektedir (Chanson 2007).



Şekil 2.23 Hava konsantrasyonunun dağılımı (Chanson, 2007)

3.DENEY SİSTEMİ VE KULLANILAN ÖLÇÜM TEKNİKLERİ

Açık kanallarda oksijen transferini incelemek için laboratuarda deneyler yapılmıştır. Bu yüksek lisans tezinin deneyleri YTÜ Hidrolik ve Kıyı Liman Mühendisliği Uygulama Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Bir kanal boyunca kapaklar yardımıyla hidrolik sıçramalar oluşturularak aynı anda su jetinin de etki ettirilmesiyle çözülmüş oksijen konsantrasyonu ve su yüzü ölçümleri yapılmıştır.

3.1 Deney Sistemi

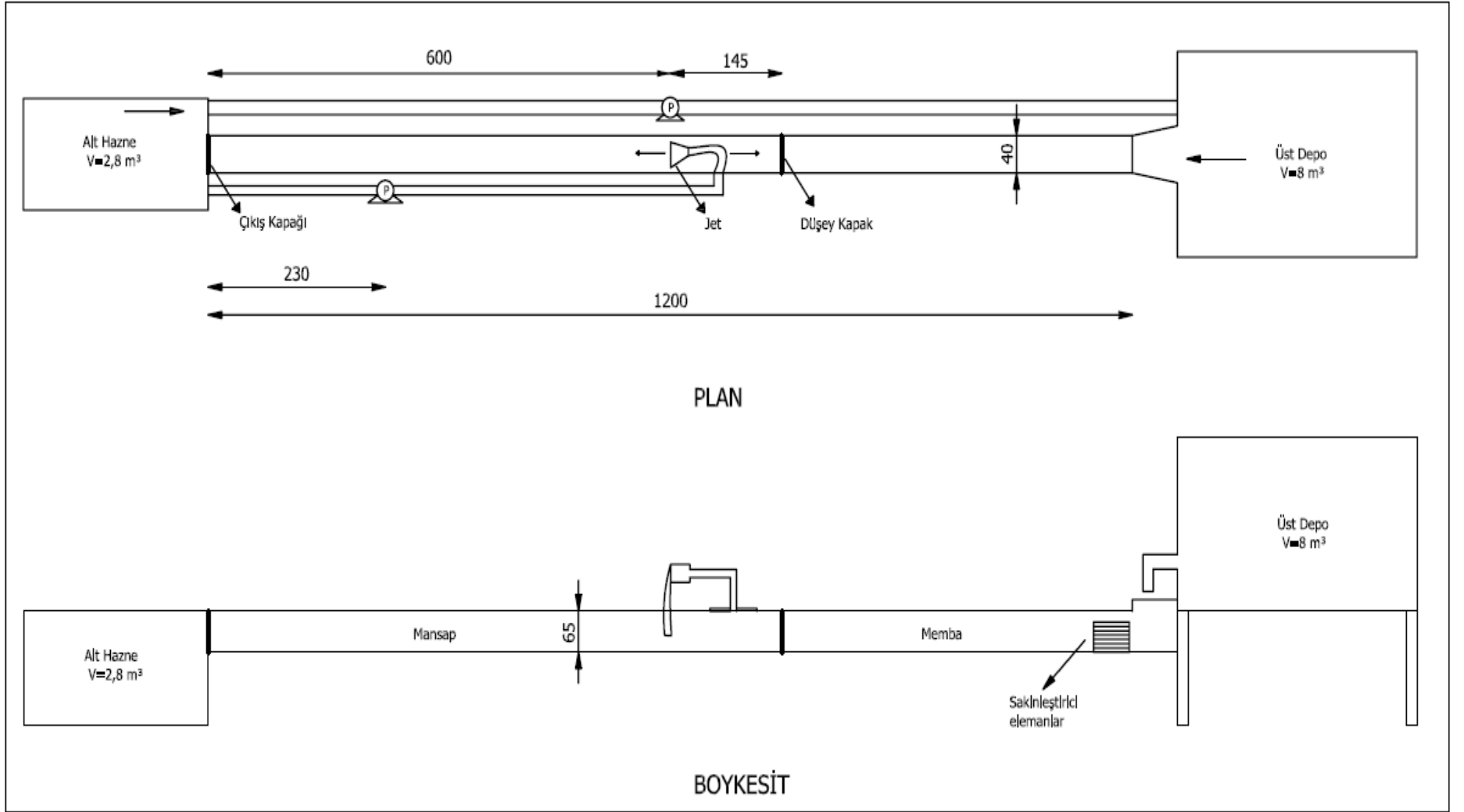
Deneyler Şekil 3.1’ de görülen 12 metre uzunluğundaki kanalda yapılmıştır. Kanalın genişliği 40 cm, yüksekliği 65 cm ve tabanı yataydır. Kanalın yan cidarları camdan yapılmış ve dikdörtgen enkesite sahiptir (Şekil 3.2).



Şekil 3.1 Deneylerin yapıldığı açık kanal

Kanalda kapalı devre su devridaimi sağlanarak akım oluşturulmaktadır. Su kanalın alt kısmında bulunan yaklaşık 2.8 m³ hacmindeki haznede depolanmakta, buradan 7.5 kW gücündeki pompanın yardımıyla kanalın üstünde yer alan 8 m³ hacmindeki depoya basılmaktadır. Böylece suyun sistemdeki sirkülasyonu sağlanmaktadır (Şekil 3.3).

Kanaldan geçen akımın miktarı, pompa çıkışına monte edilmiş olan kelebek vanayla ayarlanmaktadır. Bunların dışında 2.5 kW gücünde pompa yardımıyla 2.8 m³ hacmindeki tanktan su alınarak kapalı devre halinde su jetinin çalışması sağlanmıştır.



Şekil 3.2 Deney kanalının şematik gösterimi



Şekil 3.3 Kanalda kapalı sirkülasyonu sağlayan pompalar

Kanalda hidrolik sıçrama oluşturabilmek için, kanal başlangıcının 4.55 m mansap tarafına 65*40 cm boyutlarında saçtan yapılmış bir düşey kapak ve kanal çıkışına da kontrol yapısı olarak ikinci bir çıkış kapağı yerleştirilmiştir. Suyun kenarlardan geçişini önlemek için düşey kapakların kenarına lastik contalar monte edilmiştir. Kapakların düşey yöndeki hareketi, kapak üzerlerine yerleştirilmiş mekanizmayla sağlanmıştır.

Kanaldan geçen akımın ve su jetinin debisi, debimetrelerden okunan değerlerin önceden çizilmiş anahtar eğrilerinde yerine koyulmasıyla hesaplanmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Kanaldaki akımın ve su jetinin debisinin belirlenmesinde kullanılan debimetre

Kanalda oluşturulan hidrolik sıçramanın yeri, çıkış kapağının açıklığına bağlı olarak değişmektedir. Çünkü çıkış kapağı hem hidrolik sıçramanın yerini ayarlama hem de memba Froude (Fr_1) sayısını belirlemektedir.

Bu çalışmadaki kanalda düşey kapak arkası yüksekliği olan $H = \frac{U_1^2}{2g} + d_1$ değerinden U_1 hesaplanarak Fr_1 sayıları hesaplanmıştır. Hidrolik sıçramalardaki Fr_1 sayısı 3.55-6.07 aralığında değişim göstermiştir. Deneyler kısmi gelişmiş hidrolik sıçrama koşullarında gerçekleştirilmiştir.

3.2 Çözünmüş Oksijen Ölçümleri

Akım ortamındaki çözünmüş oksijen ve suyun sıcaklık ölçümleri kapak arkasında ve hidrolik sıçramadan sonra elle YSI EcoSense DO200 el tipi oksijenmetreler ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.5). Çözünmüş oksijen ölçümleri akımın orta derinliklerinde yapılmıştır.

Her bir deneyden önce her oksijenmetrenin kalibrasyonu kendi içinde yapılmış ve her iki oksijenmetre aynı değerleri gösterdikten sonra deneylere başlanmıştır. Suyun sıcaklığına bağlı olarak ÇO'nun su içindeki doygunluk konsantrasyonları Çizelge 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.5 DO200 el tipi oksijenmetre ve ÇO ölçümü

Oksijenmetrenin ÇO için ölçüm aralığı ± 2 % hassasiyetle 0-20 mg/L arasında, sıcaklık içinse ± 0.3 °C hassasiyetle -6 ile 46 °C arasındadır.

Hidrolik sıçramadaki havalandırma verimliliğinin belirlenebilmesi için, akımdaki gelen suyun ÇO konsantrasyonunun, sudaki doymuş değerin altında olması gerekmektedir. Bunu sağlayabilmek için, kanalın alt tarafındaki hazneye sodyum sülfite (Na_2SO_3) ve katalizör olarak kobalt klorit ($CoCl_2$) atılmıştır.



Bu kimyasal reaksiyon sonucunda su içerisindeki çözünmüş oksijen sodyum sülfite reaksiyona girerek yeni bir bileşik oluşturur ve su akımı içerisindeki ÇO'nun düşmesine yol açar. (3.1) eşitliğindeki kimyasal tepkimeden, 1 mol sodyum sülfite 0.5 mol oksijenin tepkimeye girdiği görülmektedir. 1 mol oksijenin atomik kütlesi 32 gr, 1 mol sodyum sülfitin atomik kütlesi ise 126 gr'dır. Bu duruma bağlı olarak, suyun ÇO konsantrasyonunu 5 mg/L düşürmek için, su içerisine 40 gr/ m³ Na_2SO_3 atmak gerekmektedir. Yapılan çalışmalar, su içerisine 3 gr/ m³ $CoCl_2$ atılmasının kimyasal tepkimeyi istenilen oranda hızlandırdığını ortaya koymuştur (Kucukali, 2006).

Hidrolik sıçramalardaki havalandırma verimliliğini bulmak için kapak arkasındaki ve hidrolik sıçrama sonrasındaki ÇO değerleri yarım dakika aralıklarla oksijenmetre ile manual olarak okunmuş ve kaydedilmiştir.

Gameson (1957), havalandırma verimliliğini hesaplamaya yarayan (3.2) eşitliğini öne sürmüştür. Ölçülen bu ÇO değerlerinin zamansal artışlarının aritmetik ortalamaları alınarak gerekli olan havalandırma verimliliği aşağıdaki ifade ile:

$$E = (C_D - C_U)/(C_S - C_U) \quad (3.2)$$

hesaplanmıştır. Burada C_S , havadaki oksijen konsantrasyonu; C_U , memba bölgesindeki oksijen konsantrasyonu; C_D , mansap bölgesindeki oksijen konsantrasyonudur. Farklı sıcaklıklarda hesaplanan bu E değerlerinin seçilen 20°C referans sıcaklığındaki havalandırma verimliliğine dönüştürülmesi için Gulliver vd. (1990) tarafından öne sürülen aşağıdaki (3.3) eşitliği kullanılmıştır.

$$1 - E_{20} = (1 - E_T)^{1/f_T} \quad (3.3)$$

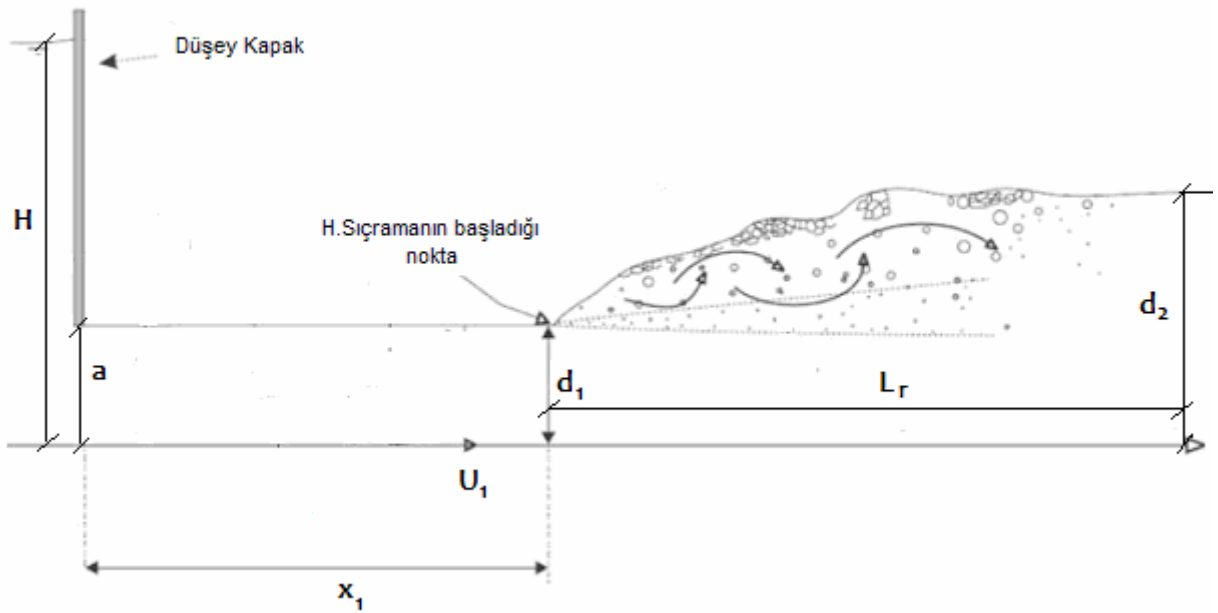
Eğer, E=0 değerini alıyorsa akım oksijen kazanmamıştır. E=1 değerini alması durumunda ise oksijen kazanımı en büyük değerine ulaşmış demektir.

Çizelge 3.1 Sudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonunun sıcaklıkla değişimi (Colt, 1984)

Sıcaklık (°C)	ÇO (mg/L)	Sıcaklık (°C)	ÇO (mg/L)
0	14.60	21	8.90
1	14.20	22	8.73
2	13.81	23	8.56
3	13.45	24	8.40
4	13.09	25	8.24
5	12.76	26	8.09
6	12.44	27	7.95
7	12.13	28	7.81
8	11.83	29	7.67
9	11.55	30	7.54
10	11.28	31	7.41
11	11.02	32	7.29
12	10.77	33	7.17
13	10.53	34	7.05
14	10.29	35	6.93
15	10.07	36	6.82
16	9.86	37	6.72
17	9.65	38	6.61
18	9.45	39	6.51
19	9.23	40	6.41
20	9.08		

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Yapılan deneysel çalışmada açık kanallarda, havadaki oksijenin suya olan transferi incelenmiştir. Hidrolik sıçrama oluşturulan kanal akımında, değişik Froude sayıları ve su jeti debilerinin oksijen transferine etkisi incelenmiştir. Hidrolik sıçrama esnasında yüksek türbülanslı ve çevrintisel akımlar meydana gelir. Bu türbülanslı akım, hidrolik sıçrama esnasında hava-su karışımını meydana getirir. Aynı zamanda meydana gelen vorteksler, su yüzeyi ile sürekli etkileşim halindedir ve hava-su transferine katkıda bulunurlar. Hidrolik sıçrama esnasında havalandırma verimliliğini etkileyen en önemli parametre memba Froude (Fr_1) sayısıdır. Aynı zamanda su jetinin su yüzeyine çarpmasıyla havadan suya gaz transferi gerçekleşir. Bu oksijen transferinin miktarı, çarpma ile birlikte kanal akımı içerisinde oluşan hava kabarcıklarının boyutuyla orantılıdır. Bu hava kabarcıklarının boyutu ise, su jetinin düşü yüksekliği ve debisiyle değişmektedir. Şekil 4.1' de görüldüğü gibi 6 farklı Fr_1 sayısında kısmi gelişmiş hidrolik sıçrama oluşturulmuştur. 3 farklı Fr_1 sayısı için, 5 değişik debi düzeyinde oksijen transferi incelenmiştir. Bu deneysel çalışmada Şekil 4.2'de görülen su jetinin düşü yüksekliği sabit tutulduğuna göre jet debisindeki değişim havalandırma verimliliğini etkileyen bir parametre olarak dikkate alınmıştır. Su jeti hidrolik sıçramanın çevri bölgesi üzerine çarptırılmıştır.



Şekil 4.1 Açık kanalda oluşturulan hidrolik sıçramanın şematik gösterimi (Murzyn ve Chanson,2008)



Şekil 4.2 Kanal akımına verilen jet mekanizması ve çarpan su jeti

4.1 Deneylerin Test Matrisi

Çalışmadaki deneylere ait akım koşulları ve deney sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Yapılan deneylerin test matrisi

Deney No	Fr_1	H (mm)	a (mm)	d_1 (mm)	d_2 (mm)	E_{20}	U_1 (m/s)	T_{su} (°C)	L_r (mm)	Q (m ³ /s)	Q_{jet} (m ³ /s)
1	3.55	174	19	24	92	0.044	1.72	25.5	610	$13.07 \cdot 10^{-3}$	
2	3.92	190	19	22	104	0.050	1.82	28.9	640	$13.83 \cdot 10^{-3}$	
3	4.24	270	19	24	138	0.052	2.05	25.4	770	$15.58 \cdot 10^{-3}$	
4	4.67	261	19	22	156	0.055	2.17	29.5	800	$16.49 \cdot 10^{-3}$	
5	5.16	301	19	21	183	0.060	2.34	28	865	$17.78 \cdot 10^{-3}$	
6	6.07	368	19	19	194	0.073	2.62	30.4	945	$19.91 \cdot 10^{-3}$	
7	3.92	190	19	22	104	0.052	1.82	28.9	640	$13.83 \cdot 10^{-3}$	$26.7 \cdot 10^{-5}$
8	3.92	190	19	22	104	0.054	1.82	28.9	640	$13.83 \cdot 10^{-3}$	$50.9 \cdot 10^{-5}$
9	3.92	190	19	22	104	0.055	1.82	28.9	640	$13.83 \cdot 10^{-3}$	$95.9 \cdot 10^{-5}$
10	3.92	190	19	22	104	0.058	1.82	28.9	640	$13.83 \cdot 10^{-3}$	$120.1 \cdot 10^{-5}$
11	3.92	190	19	22	104	0.059	1.82	28.9	640	$13.83 \cdot 10^{-3}$	$196.1 \cdot 10^{-5}$
12	4.67	261	19	22	156	0.055	2.17	29.5	800	$16.49 \cdot 10^{-3}$	$26.7 \cdot 10^{-5}$
13	4.67	261	19	22	156	0.056	2.17	29.5	800	$16.49 \cdot 10^{-3}$	$50.9 \cdot 10^{-5}$
14	4.67	261	19	22	156	0.058	2.17	29.5	800	$16.49 \cdot 10^{-3}$	$95.9 \cdot 10^{-5}$
15	4.67	261	19	22	156	0.059	2.17	29.5	800	$16.49 \cdot 10^{-3}$	$120.1 \cdot 10^{-5}$
16	4.67	261	19	22	156	0.061	2.17	29.5	800	$16.49 \cdot 10^{-3}$	$196.1 \cdot 10^{-5}$
17	5.16	301	19	21	183	0.061	2.34	28	865	$17.78 \cdot 10^{-3}$	$26.7 \cdot 10^{-5}$
18	5.16	301	19	21	183	0.064	2.34	28	865	$17.78 \cdot 10^{-3}$	$50.9 \cdot 10^{-5}$
19	5.16	301	19	21	183	0.065	2.34	28	865	$17.78 \cdot 10^{-3}$	$95.9 \cdot 10^{-5}$
20	5.16	301	19	21	183	0.067	2.34	28	865	$17.78 \cdot 10^{-3}$	$120.1 \cdot 10^{-5}$
21	5.16	301	19	21	183	0.070	2.34	28	865	$17.78 \cdot 10^{-3}$	$196.1 \cdot 10^{-5}$

4.2 Boyut Analizi

Hidrolik sıçramanın, deneysel çalışmada havalandırma verimliliğine etki eden parametreler şu fiziksel büyüklüklerle ifade edilebilirler:

$$E = f(H, d_1, d_2, \rho_{C_D}, U_1, L_r, Q, Q_{jet}, g) \quad (4.1)$$

Buradaki ρ_{C_D} mansap bölgesinde ölçülen ÇO değeri olarak dikkate alınmıştır. Deneysel çalışmada Fr_1 sayısının ve jet debisinin havalandırma verimliliğine etkisi ayrı ayrı takım deneyler olarak incelenmiştir. Bundan dolayı iki farklı boyut analizi yapılması öngörülmüştür. Fr_1 sayısının havalandırma verimliliğine etkisi incelenirken aşağıdaki parametreler dikkate alınmıştır.

$$E_{20(1)} = f(H, d_1, d_2, \rho_{C_D}, U_1, L_r, Q, g) \quad (4.2)$$

Buradaki; H düşey kapak arkası su yüksekliği, d_1 ve d_2 hidrolik sıçrama öncesi ve sonrası su derinlikleri, U_1 hidrolik sıçrama öncesindeki akımın ortalama hızı, L_r çevri bölgesi uzunluğu ve Q ise kanaldaki akımın debisidir.

Olaya etki eden değişken sayısının sekiz tane olduğu görülmektedir. Boyut analizi için esas ana değişken olarak H, ρ_{C_D} ve U_1 olarak seçilmiştir. Buradan da temel boyut sayısı üç tane olduğundan dolayı toplam beş tane boyutsuz π sayısı elde edilir. Buradan $\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4$ ve π_5 büyüklükleri aşağıdaki gibi elde edilecektir:

$$M^0 L^0 T^0 = L^{x_1} (M.L^{-3})^{y_1} (L.T^{-1})^{z_1} (L) \rightarrow x_1 = -1; y_1 = 0 \text{ ve } z_1 = 0 \quad (4.3)$$

$$\pi_1 = \frac{d_1}{H} \quad (4.4)$$

$$M^0 L^0 T^0 = L^{x_2} (M.L^{-3})^{y_2} (L.T^{-1})^{z_2} (L) \rightarrow x_2 = -1; y_2 = 0 \text{ ve } z_2 = 0 \quad (4.5)$$

$$\pi_2 = \frac{d_2}{H} \quad (4.6)$$

$$M^0 L^0 T^0 = L^{x_3} (M.L^{-3})^{y_3} (L.T^{-1})^{z_3} (L) \rightarrow x_3 = -1; y_3 = 0 \text{ ve } z_3 = 0 \quad (4.7)$$

$$\pi_3 = \frac{L_r}{H} \quad (4.8)$$

$$M^0 L^0 T^0 = L^{x_4} (M.L^{-3})^{y_4} (L.T^{-1})^{z_4} (L^3 T^{-1}) \rightarrow x_4 = -2; y_4 = 0 \text{ ve } z_4 = -1 \quad (4.9)$$

$$\pi_4 = \frac{Q}{U_1 \cdot H^2} \quad (4.10)$$

$$M^0 L^0 T^0 = L^{x_5} (M \cdot L^{-3})^{y_5} (L T^{-1})^{z_5} (L T^{-2}) \rightarrow x_5 = 1; y_5 = 0 \text{ ve } z_5 = -2 \quad (4.11)$$

$$\pi_5 = \frac{U_1}{\sqrt{g d_1}} = Fr_1 \quad (4.12)$$

$$E'_{20(1)} = f \left[(d_1 / H), (d_2 / H), (L_r / H), Q / (U_1 H^2), Fr_1 \right] \quad (4.13)$$

Q_{jet} 'in havalandırma verimliliğine etkisi incelenirken ise aşağıdaki parametreler dikkate alınmıştır.

$$E_{20(2)} = f(H, d_1, d_2, \rho_{C_D}, U_1, Q, Q_{jet}, g) \quad (4.14)$$

Olaya etki eden ana değişken olarak yine H, ρ_{C_D} ve U_1 seçilmiştir. Temel boyut sayısı üç tane olduğundan dolayı toplam beş tane boyutsuz π sayısı elde edilir. Buradan π_1 , π_2 , π_3 , π_4 ve π_5 büyüklükleri aşağıdaki gibi elde edilecektir:

$$M^0 L^0 T^0 = L^{x_1} (M \cdot L^{-3})^{y_1} (L T^{-1})^{z_1} (L) \rightarrow x_1 = -1; y_1 = 0 \text{ ve } z_1 = 0 \quad (4.15)$$

$$\pi_1 = \frac{d_1}{H} \quad (4.16)$$

$$M^0 L^0 T^0 = L^{x_2} (M \cdot L^{-3})^{y_2} (L T^{-1})^{z_2} (L) \rightarrow x_2 = -1; y_2 = 0 \text{ ve } z_2 = 0 \quad (4.17)$$

$$\pi_2 = \frac{d_2}{H} \quad (4.18)$$

$$M^0 L^0 T^0 = L^{x_4} (M \cdot L^{-3})^{y_4} (L T^{-1})^{z_4} (L^3 T^{-1}) \rightarrow x_4 = -2; y_4 = 0 \text{ ve } z_4 = -1 \quad (4.19)$$

$$\pi_3 = \frac{Q}{U_1 \cdot H^2} \quad (4.20)$$

$$M^0 L^0 T^0 = L^{x_4} (M \cdot L^{-3})^{y_4} (L T^{-1})^{z_4} (L^3 T^{-1}) \rightarrow x_4 = -2; y_4 = 0 \text{ ve } z_4 = -1 \quad (4.21)$$

$$\pi_4 = \frac{Q_{jet}}{U_1 \cdot H^2} \quad (4.22)$$

$$M^0 L^0 T^0 = L^{x_5} (M \cdot L^{-3})^{y_5} (L T^{-1})^{z_5} (L T^{-2}) \rightarrow x_5 = 1; y_5 = 0 \text{ ve } z_5 = -2 \quad (4.23)$$

$$\pi_5 = \frac{U_1}{\sqrt{g d_1}} = Fr_1 \quad (4.24)$$

$$E'_{20(2)} = f \left[(d_1 / H), (d_2 / H), Q / (U_1 H^2), Q_{jet} / (U_1 H^2), Fr_1 \right] \quad (4.25)$$

4.3 Deneysel Verilerin SPSS Programıyla Analizinin Yapılması

SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) eldeki verileri istatistiksel olarak inceleyerek, kullanıcıya anlamlı sonuçlar sunan bir programdır. İlk sürümü 1968 yılında piyasaya verilmiş istatistiksel analize yönelik bir bilgisayar programıdır. Günümüzde en son versiyon 18 olan sürümü kullanımdadır ve adı PASW olarak değiştirilmiştir. SPSS programı yardımıyla kurulan ilişkilerin istatistiksel olarak en anlamlı olması amaçlanmıştır. SPSS programında yapılan regresyon analizleri sonucunda iki parametre dikkate alınmıştır. Bu iki parametre F ve P'dir. Regresyon analizi sonucunda bir serinin anlamlı olması $F > 0$ ve $P < 0.05$ şartına bağlıdır. F, 0'dan ne kadar büyük ve P'de 0.05'den ne kadar küçük olursa analiz sonucunda elde edilen regresyon o kadar doğru sonuç verecektir (Bayram, 2004).

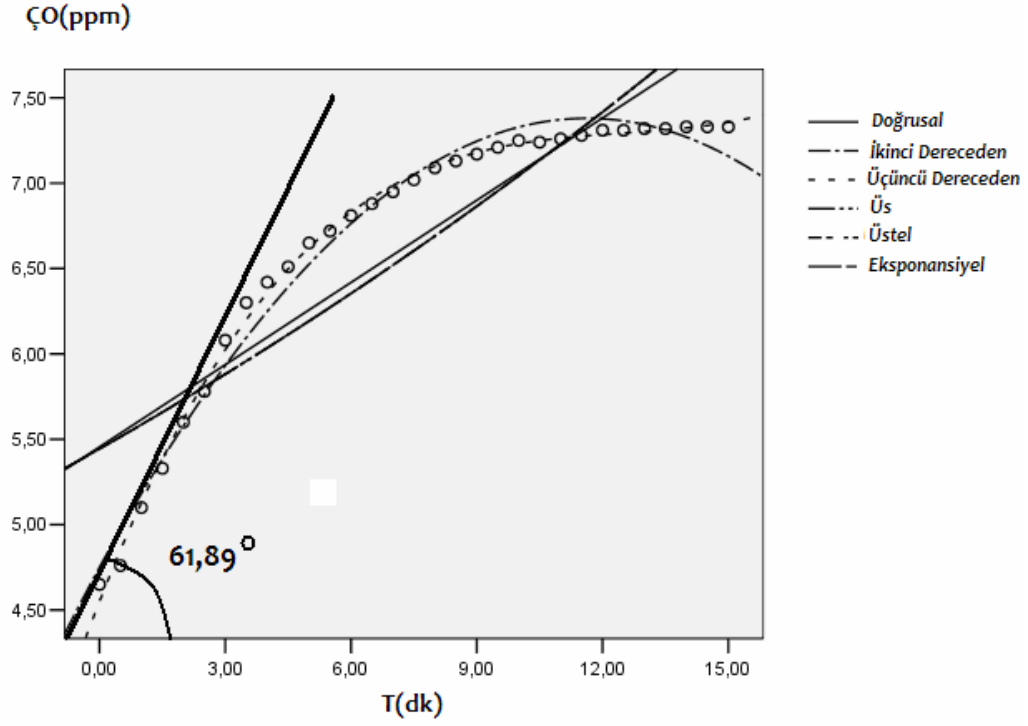
Jet debisi etki edilmemiş Fr_1 sayılarında hidrolik sıçrama sonrasında ölçülen ÇO değerleri Şekil 4.3-8'de görüldüğü gibi SPSS programı yardımıyla zamana bağlı olarak çizilmiştir ve ortaya çıkan eğrilerin ilk dikliklerinin yatayla yaptıkları açılar α aşağıdaki Çizelge 4.2' de verilmiştir.

Çizelge 4.2 Yapılan ölçümlerin ilk dikliklerinin yatayla yaptıkları açılar

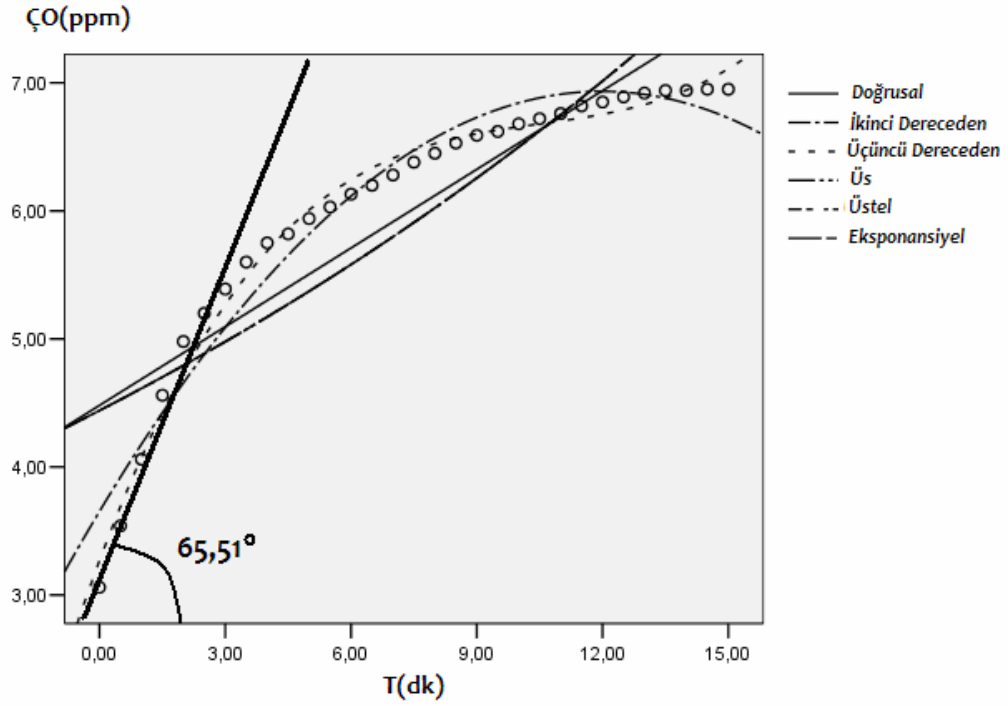
Fr_1	3.55	3.92	4.24	4.67	5.16	6.07
α	61.89	65.51	67.41	69.52	71.99	76.98
E_{20}	0.044	0.050	0.052	0.054	0.060	0.073

Hidrolik sıçrama sonrası (Hss) elde edilen ÇO'nin zamana bağlı değişim eğrisinin yatayla yaptığı açı Fr_1 sayısının artışına paralel olarak artmaktadır. Bu artışta eğrinin ilk dikliğinin yatayla yaptığı açı 15.09° arttığında Fr_1 sayısı 3.55 ile 6.07 arasında değişim gösterirken E_{20} ise 0.029 artış göstermiştir.

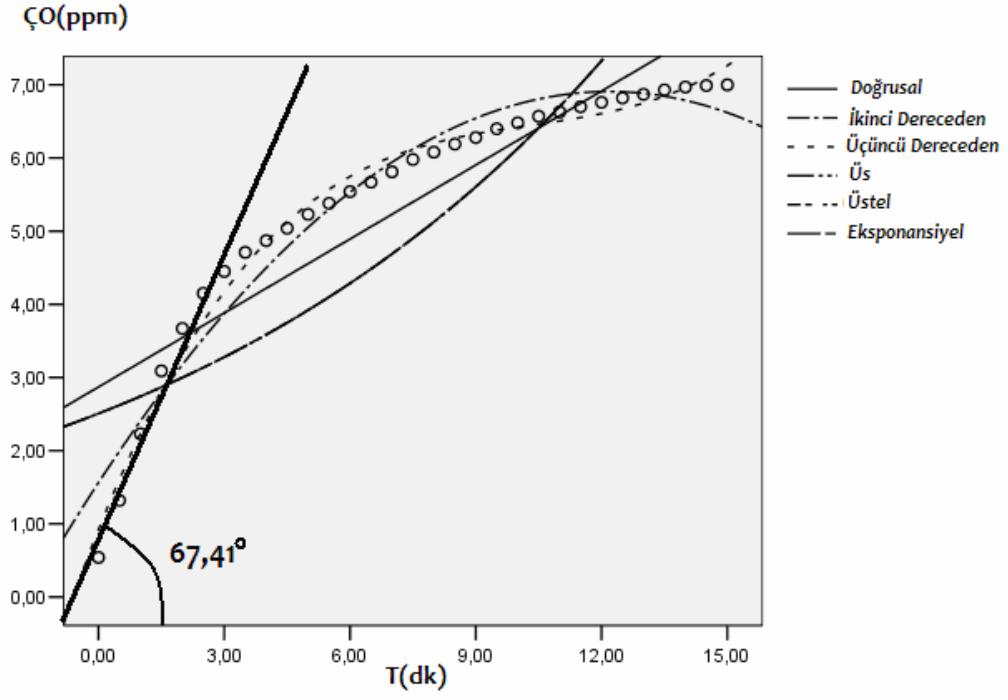
Deneysel çalışmalarda su devri daimi sırasında toplam 10 m^3 su mevcut olup kullanılacak sodyum sülfid ve kobalt klorür miktarları her deney öncesinde mevcut su hacmine karşılık gelen toplam miktar oranında suya ilave edilerek sistem çalıştırılmış ve tüm sistem içinde suda çözülmüş olan oksijen mümkün olan en düşük orana indirilmiştir. İlave edilen maddelerin suya iyice karışması ve sudaki çözülmüş oksijenin indirgenmesi için belli bir süre geçmesi gerekmiştir.



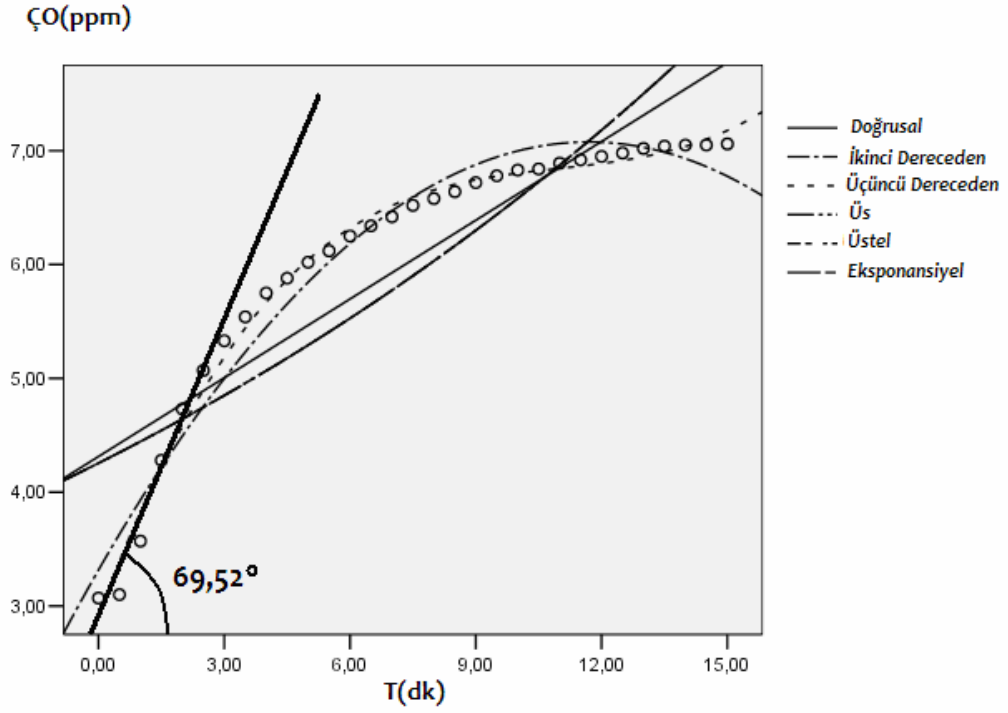
Şekil 4.3 $Fr_1=3.55$ akım şartı için Hss yapılan ölçümlerin ilk dikliklerinin yatayla yaptığı açı



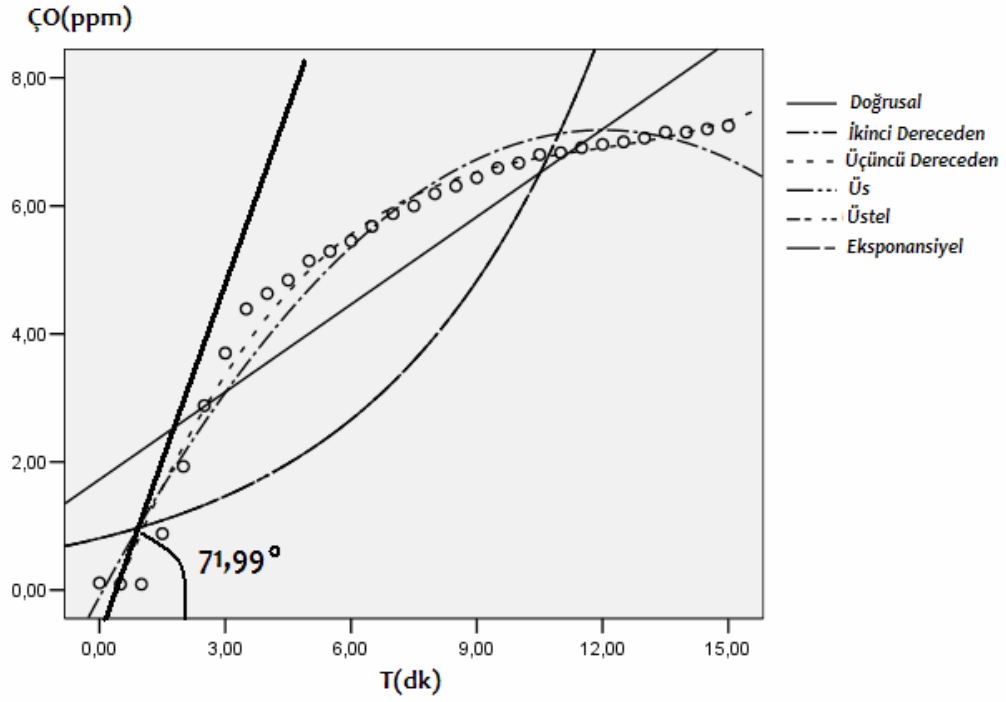
Şekil 4.4 $Fr_1=3.92$ akım şartı için Hss yapılan ölçümlerin ilk dikliklerinin yatayla yaptığı açı



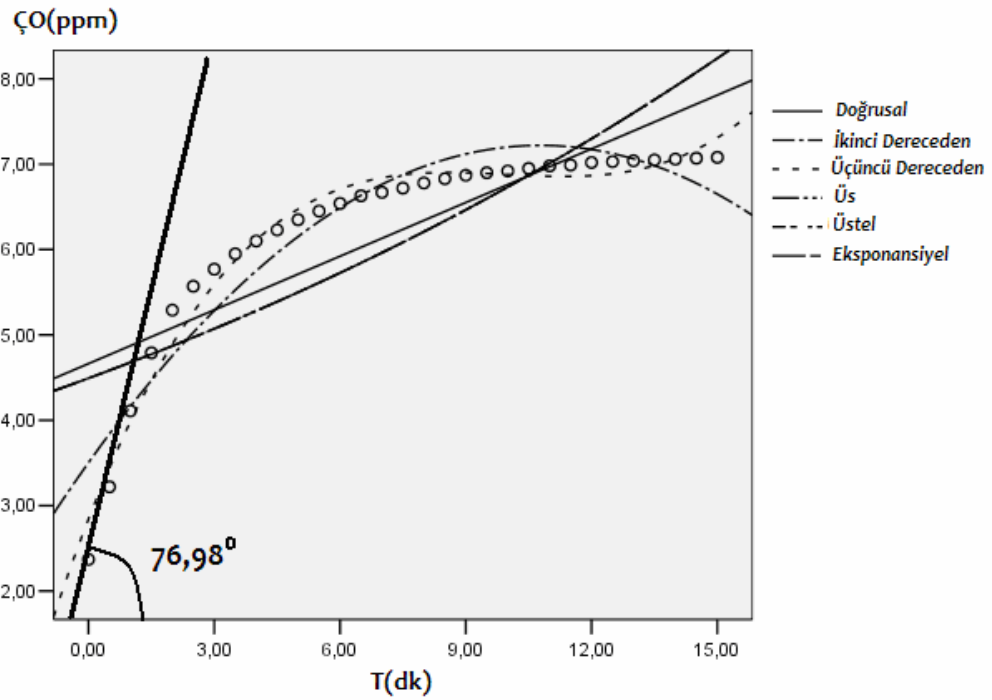
Şekil 4.5 $Fr_1=4.24$ akım şartı için Hss yapılan ölçümlerin ilk dikliklerinin yatayla yaptığı açı



Şekil 4.6 $Fr_1=4.67$ akım şartı için Hss yapılan ölçümlerin ilk dikliklerinin yatayla yaptığı açı



Şekil 4.7 $F_{r1}=5.16$ akım şartı için Hss yapılan ölçümlerin ilk dikliklerinin yatayla yaptığı açı



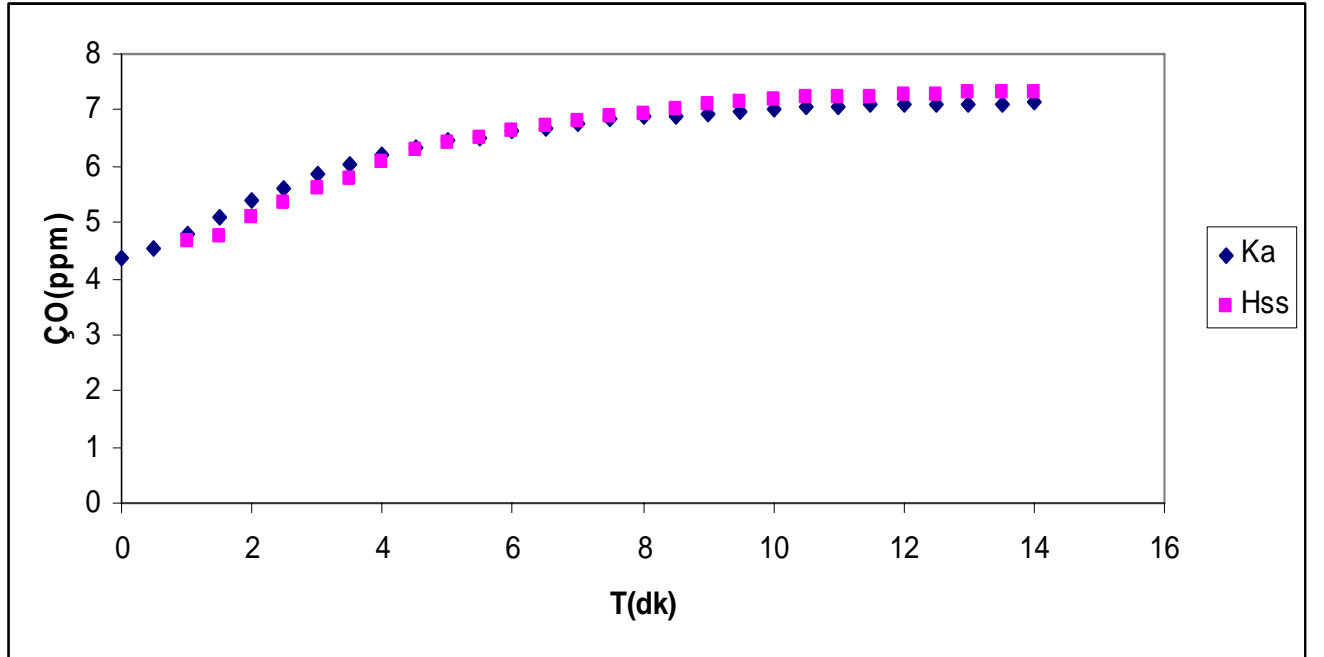
Şekil 4.8 $F_{r1}=6.07$ akım şartı için Hss yapılan ölçümlerin ilk dikliklerinin yatayla yaptığı açı

Bu geçen süre zarfında sudaki çözünmüş oksijen tüketilirken kanal boyunca su akışı ile, depoda bekleme sırasında, devir daim yapılan suyun kapalı boru içerisinde geçişi sırasında ve pompa ile basılan suyun borudan çıkışı sırasında oksijen kazanımı olduğundan başlangıçtaki sudaki çözünmüş oksijen miktarı sıfıra indirgenememiştir. Bundan dolayı ölçülen değerler belli bir çözünmüş oksijen konsantrasyonu değerinden başlamaktadır.

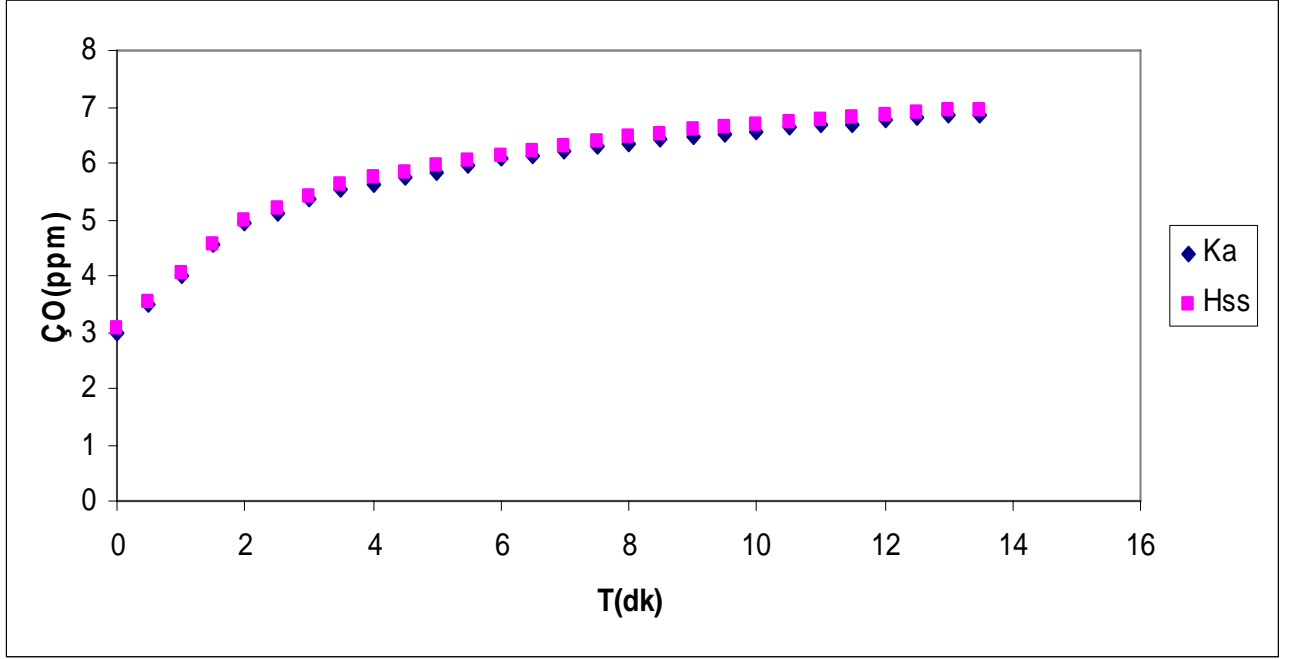
Şekil 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 ve 4.14 incelendiğinde yaklaşık 15 dakika içerisinde sudaki çözünmüş oksijen miktarı doygunluk değerinin yaklaşık %90-95 değerine ulaşmaktadır.

Oksijen kazanımı tüm grafiklerden görüleceği gibi ilk 5 dakika içerisinde oldukça fazla olmasına karşın 5 dakikadan sonra yapılan ölçümlerde oksijen kazanım miktarı giderek azalma göstermektedir. Yani sudaki çözünmüş oksijen ihtiyacının fazla olması durumunda oksijen kazanımının fazla, az olduğu durumlarda oksijen kazanımının az olduğu belirlenmiştir.

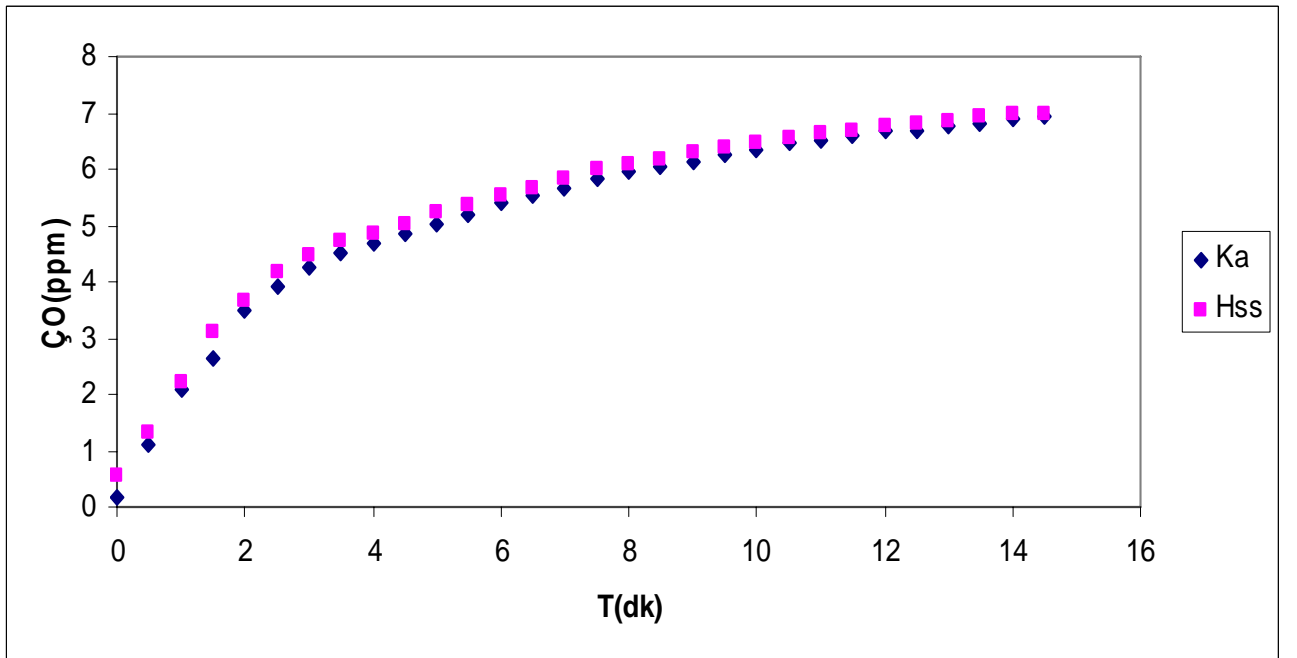
Tüm Froude sayıları için küçük farklılıklar olmasına karşın kapak arkası (Ka) ve hidrolik sıçrama sonrası (Hss) çözünmüş oksijen değerlerinin değişimi aynı eğilimi göstermektedir. Bunun yanı sıra değerler arasındaki farklarda kapak altından geçen akım sonucu meydana gelen hidrolik sıçrama sonucunda, hidrolik sıçrama sırasında suyun kazanmış olduğu çözünmüş oksijen miktarını göstermektedir.



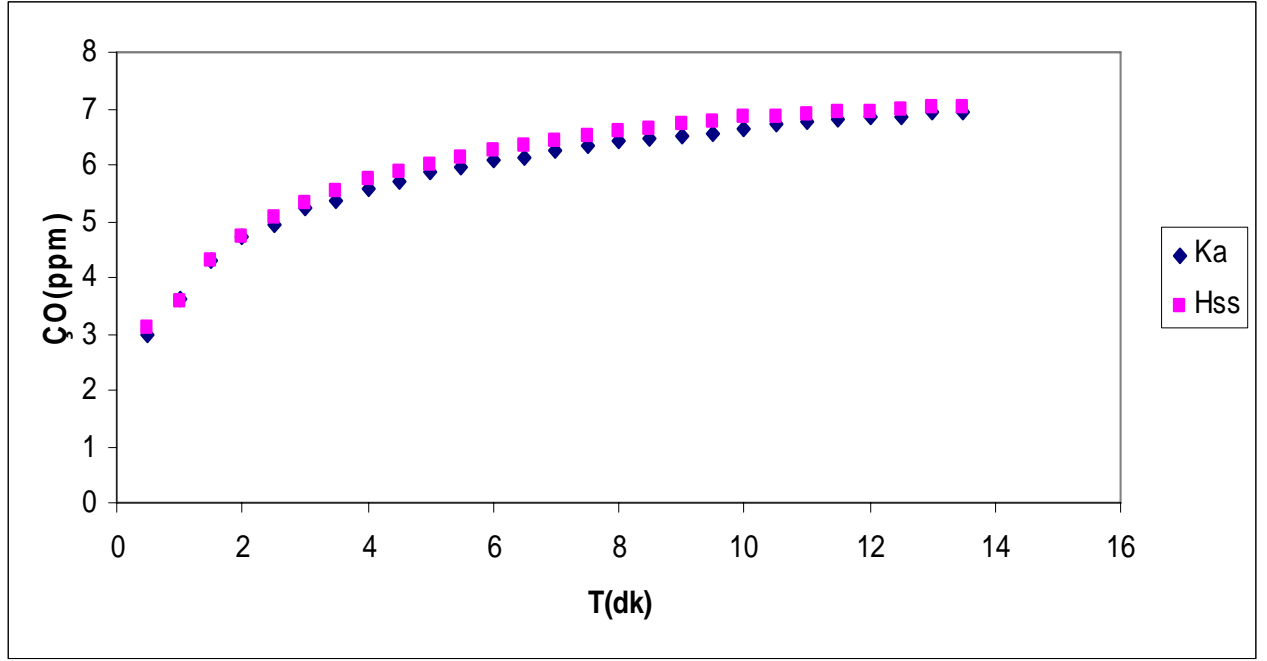
Şekil 4.9 $Fr_1=3.55$ için zamana bağlı sudaki çözünmüş oksijen miktarının değişimi



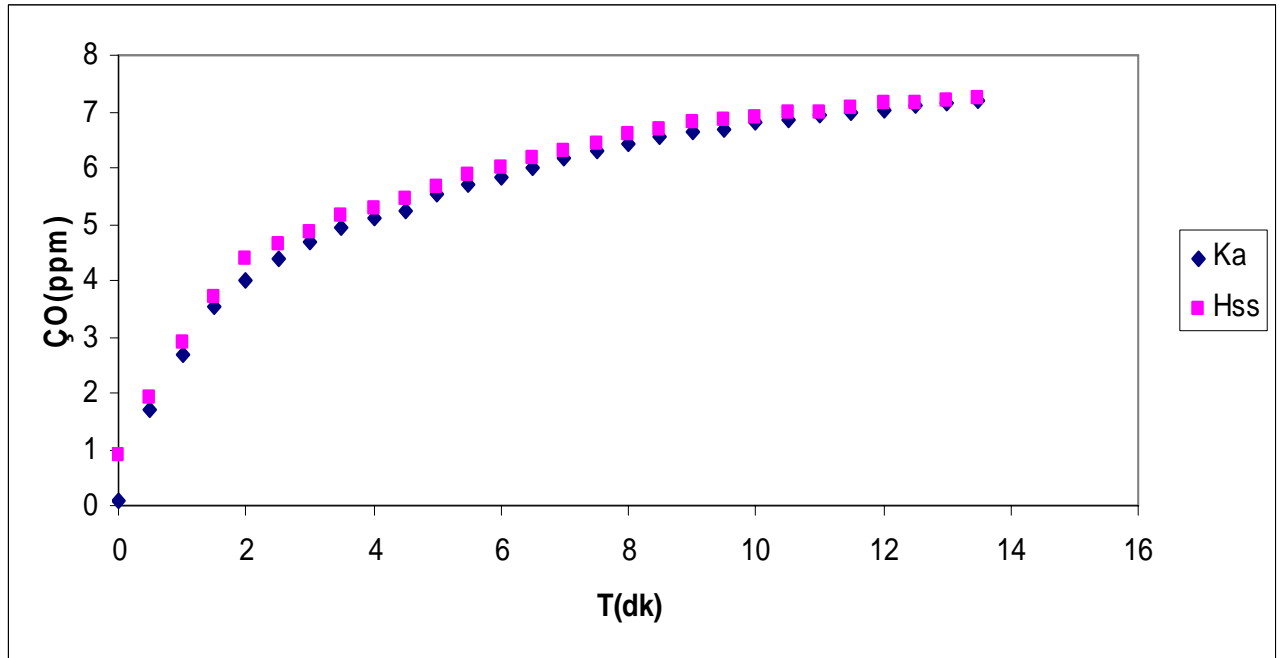
Şekil 4.10 $Fr_1=3.92$ için zamana bağlı sudaki çözülmüş oksijen miktarının değişimi



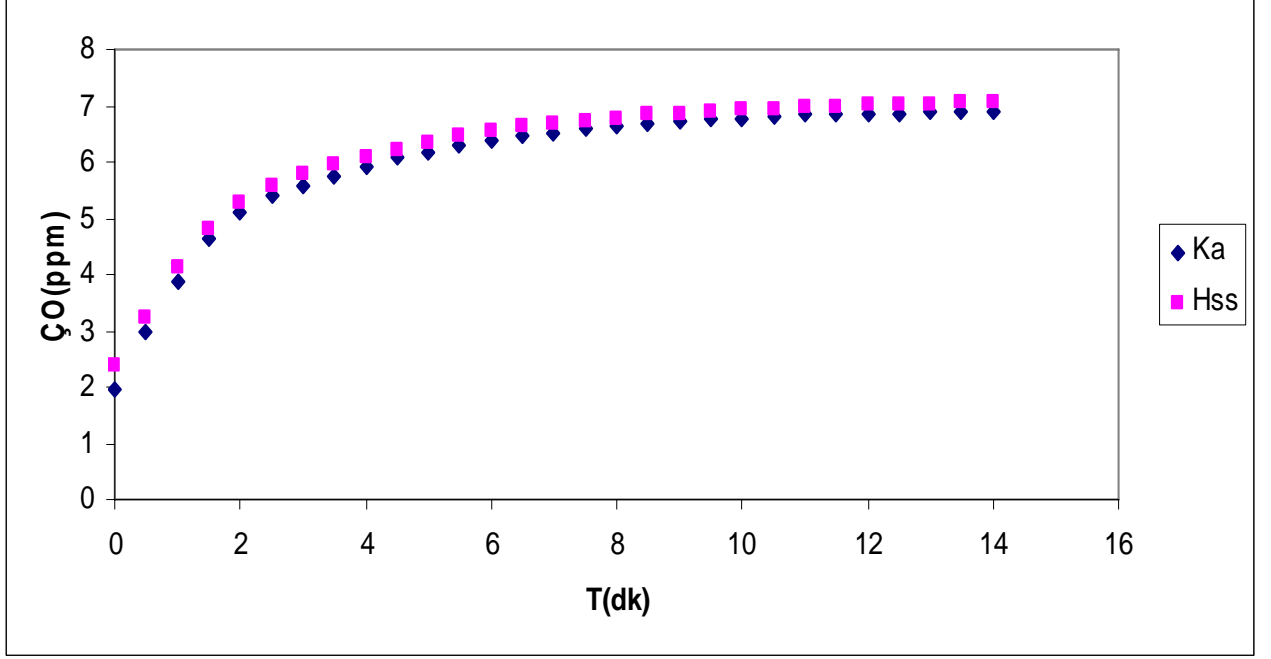
Şekil 4.11 $Fr_1=4.24$ için zamana bağlı sudaki çözülmüş oksijen miktarının değişimi



Şekil 4.12 $Fr_1=4.67$ için zamana bağlı sudaki çözülmüş oksijen miktarının değişimi



Şekil 4.13 $Fr_1=5.16$ için zamana bağlı sudaki çözülmüş oksijen miktarının değişimi



Şekil 4.14 $Fr_1=6.07$ için zamana bağlı sudaki çözülmüş oksijen miktarının değişimi

Tüm deneylerin kapak arkası ve hidrolik sıçrama sonrası ölçülen ÇO değerleri, zamana bağlı olarak SPSS programında analiz edilmiştir. Tüm ÇO eğrilerinin $F>0$ ve $P<0.05$ şartları altında en uygun eğrisel değişiminin aşağıdaki gibi üçüncü dereceden bir denklemle ifade edilebileceği görülmüştür.

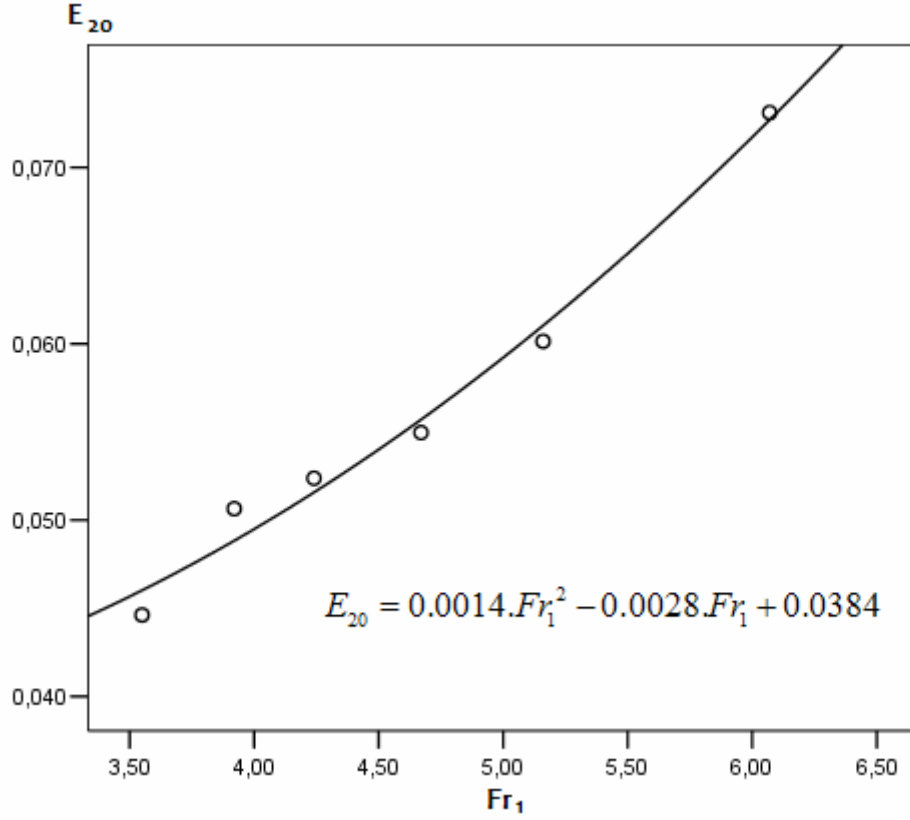
$$a + bx^3 + cx^2 + dx \quad (4.26)$$

4.4 Hidrolik Sıçramanın Doğal Havalandırma Verimliliğinin Araştırılması

Hidrolik sıçramanın havalandırma verimliliğinin, Fr_1 sayısının 3.55-6.07 aralığındaki değişimi Şekil 4.15’de verilmiştir. Fr_1 sayısının 3.5 ile 4 arasındaki değişimi esnasında E_{20} ; 20 °C’deki havalandırma verimliliği yaklaşık olarak % 14 artış göstermiştir. Fr_1 sayısının 4 ile 5 arasındaki değişimi esnasında ise E_{20} değeri yaklaşık olarak % 20 artış göstermiştir. Fr_1 sayısının ise 3.55 ile 6.07 arasındaki değişiminde E_{20} toplamda % 65 artmıştır.

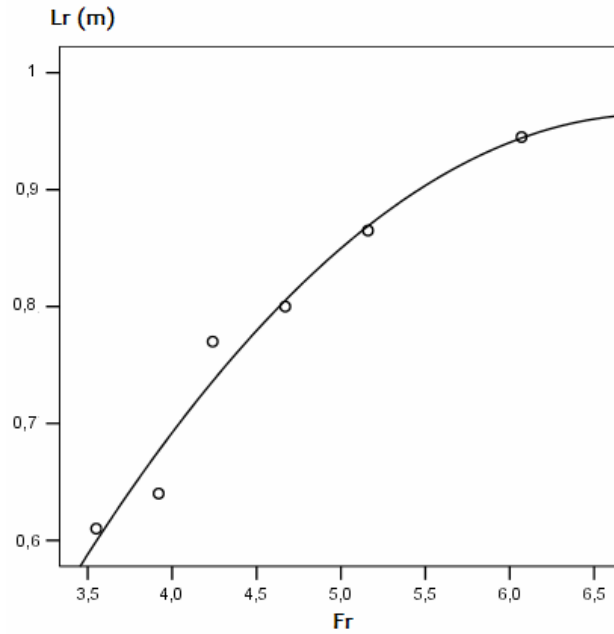
SPSS programı yardımıyla yapılan regresyon analizi sonucunda $B=0.40$ m ve $Fr_1=3.55-6.07$ akım şartlarında aşağıdaki denklem elde edilmiştir.

$$E_{20} = 0.0014.Fr_1^2 - 0.0028.Fr_1 + 0.0384 \quad (4.27)$$

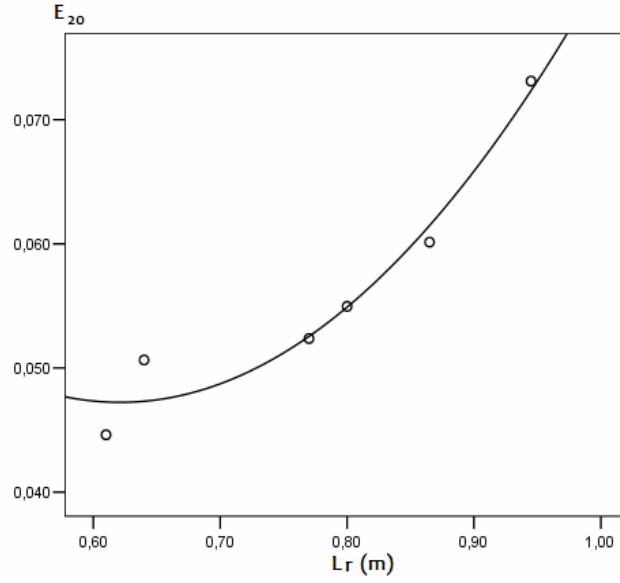


Şekil 4.15 Hidrolik sıçramada havalandırma verimliliğinin Froude sayısına göre değişimi

Hidrolik sıçramada, memba Fr_1 sayısının artış göstermesiyle çevri uzunluğunun değeri artar (Şekil 4.16). Bu fiziksel gelişmeye bağlı olarak da Şekil 4.17’de görüleceği üzere havadan suya transfer olan oksijenin kütlesi artar.



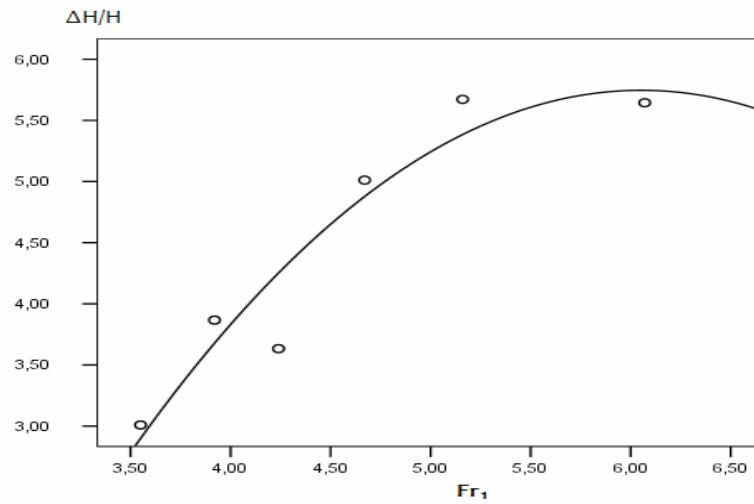
Şekil 4.16 Hidrolik sıçramada çevri uzunluğunun Froude sayısına göre değişimi



Şekil 4.17 Hidrolik sıçramada havalandırma verimliliğinin çevri uzunluğuna göre değişimi

Hidrolik sıçramadan sonra akım ortamında ΔH kadar bir enerji kaybı meydana gelir. Bu enerji kaybına yol açan en önemli faktör, akım ortamında oluşan çevri hareketleri ve türbülans büyüklüklerinde meydana gelen ani artışlardır. Çevri hareketlerinde, akışkan parçacıklarının birbirlerine çarpmalarıyla sürtünme yaratılır ve oluşan bu sürtünme dolayısıyla akım ortamındaki enerjinin bir bölümü ısıya dönüşür (Kucukali, 2006).

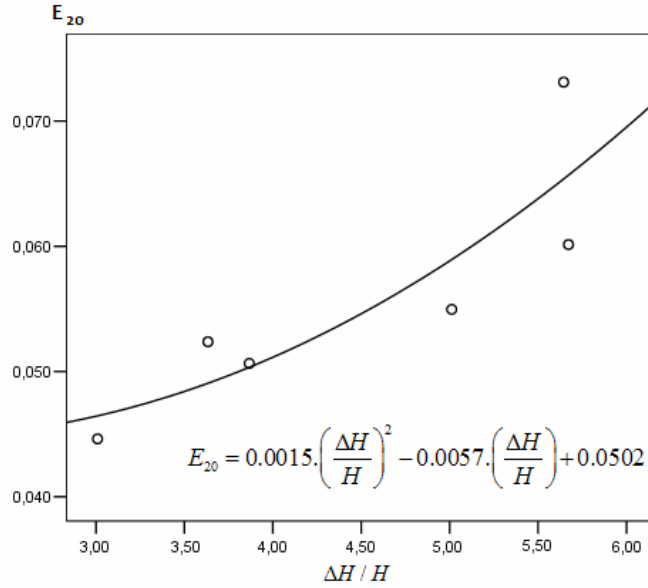
Rölatif enerji kaybı $\Delta H / H$; Şekil 4.18'de görüldüğü üzere, Fr_1 sayısının artmasıyla artmaktadır. Çünkü, Fr_1 sayısının artmasıyla birlikte çevri hareketlerinde ve türbülans büyüklüklerinde artışlar olmaktadır (Sümer vd., 1982).



Şekil 4.18 Hidrolik sıçramadaki rölatif enerji kaybının Froude sayısına göre değişimi

Fr_1 sayısının artmasıyla havalandırma verimliliği artar. Buna göre de rölatif enerji kaybının artmasıyla havalandırma verimliliği de artmaktadır (Şekil 4.19). Bu noktaları en iyi biçimde temsil eden eğrinin fonksiyonu (4.28) eşitliğinde verilmiştir.

$$E_{20} = 0.0015 \cdot \left(\frac{\Delta H}{H} \right)^2 - 0.0057 \cdot \left(\frac{\Delta H}{H} \right) + 0.0502 \quad (4.28)$$



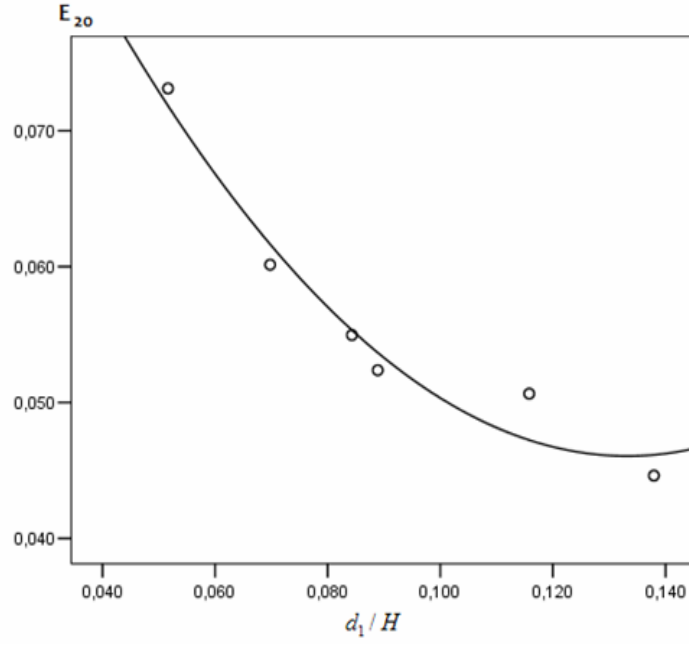
Şekil 4.19 Hidrolik sıçramada havalandırma verimliliğinin rölatif enerji kaybıyla değişimi

Şekil 4.19' daki eğriden elde edilen denklemden yola çıkarak; rölatif enerji kaybındaki 1 birimlik değişim havalandırma verimliliğinde 0.046 birim artış sağlamaktadır.

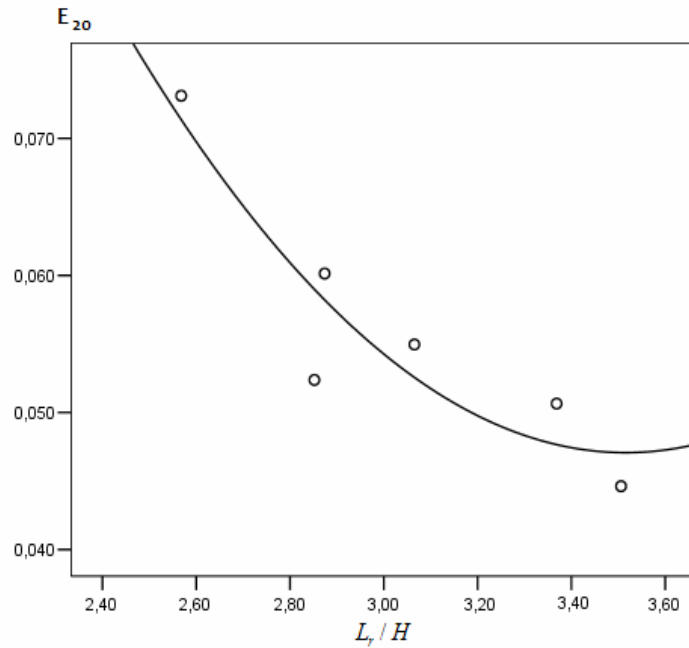
Hidrolik sıçramadaki çevri bölgesi uzunluğu, yapılan deneysel çalışmalarda ölçülmüş ve L_r 'yi hesaplamayı sağlayan şu denklem öne sürülmüştür (Hager vd.,1990).

$$L_r = 8d_1(Fr_1 - 1.5) \quad (4.29)$$

(4.29) eşitliğinden görüleceği üzere d_1 'in artmasıyla L_r artmaktadır. Çevri uzunluğunun artmasıyla da havalandırma verimliliği artmaktadır (Şekil 4.17). Havalandırma verimliliği ise Şekil 4.20'deki gibi d_1/H ve Şekil 4.21'de görüldüğü gibi L_r/H 'nin artmasıyla azalmaktadır. Bunun sebebi, kanal akımı debisinin değişiminde düşey kapak arkası su yüksekliği olan H 'nin, L_r ve d_1 'e oranla daha fazla değişim göstermesidir.

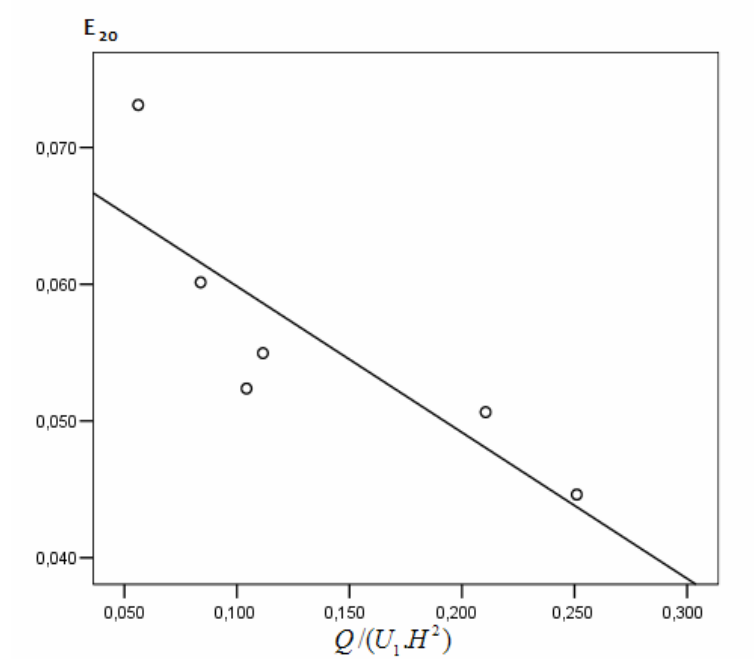


Şekil 4.20 Hidrolik sıçramadaki havalandırma verimliliğinin d_1/H oranına göre değişimi



Şekil 4.21 Hidrolik sıçramadaki havalandırma verimliliğinin L_r/H oranına göre değişimi

Bu deneysel çalışmada kanal akımının debisi ve hızı ise havalandırma verimliliğinde önemli bir etken olarak aşağıdaki Şekil 4.22'de görülmektedir. $Q/(U_1H^2)$ oranı arttıkça havalandırma verimliliği azalmaktadır.



Şekil 4.22 Hidrolik sıçramadaki havalandırma verimliliğinin $Q/(U_1 H^2)$ oranına göre değişimi

4.5 Jet Etki Ettirilen Hidrolik Sıçramanın Doğal Havalandırma Verimliliğinin Araştırılması

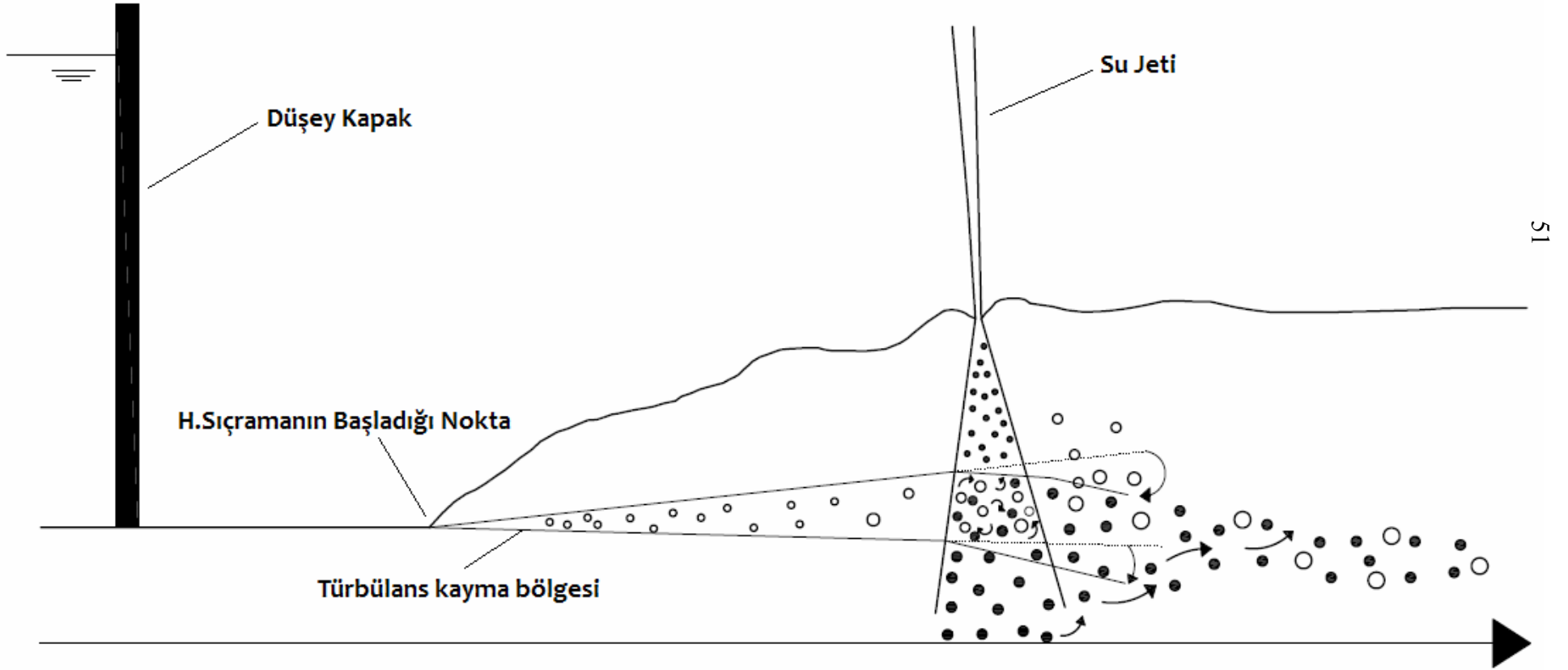
Hidrolik sıçramanın çevri bölgesi uzunluğu içerisinde türbülans kayma bölgesi üzerine farklı debilerde olmak üzere su jeti çarptırılmıştır. Su jetinin etkisinde, çözülmüş oksijen kazanımının zamana bağlı olarak değişiminin ve kapak arkasındaki çözülmüş oksijen konsantrasyonu ile hidrolik sıçrama sonrasındaki çözülmüş oksijen konsantrasyon değerlerinin değişiminin normal hidrolik sıçrama durumundaki deneyler sonunda elde edilen değerlere benzer şekilde değiştiği görülmektedir.

Ancak zamana bağlı çözülmüş oksijen değerleri (özellikle ilk 5 dakika içerisindeki değişim) hidrolik sıçramada elde edilen değerlerden daha büyük değerlere sahiptir. Bu da su jetinin akıma fazladan bir oksijen kazanımı sağladığını göstermektedir.

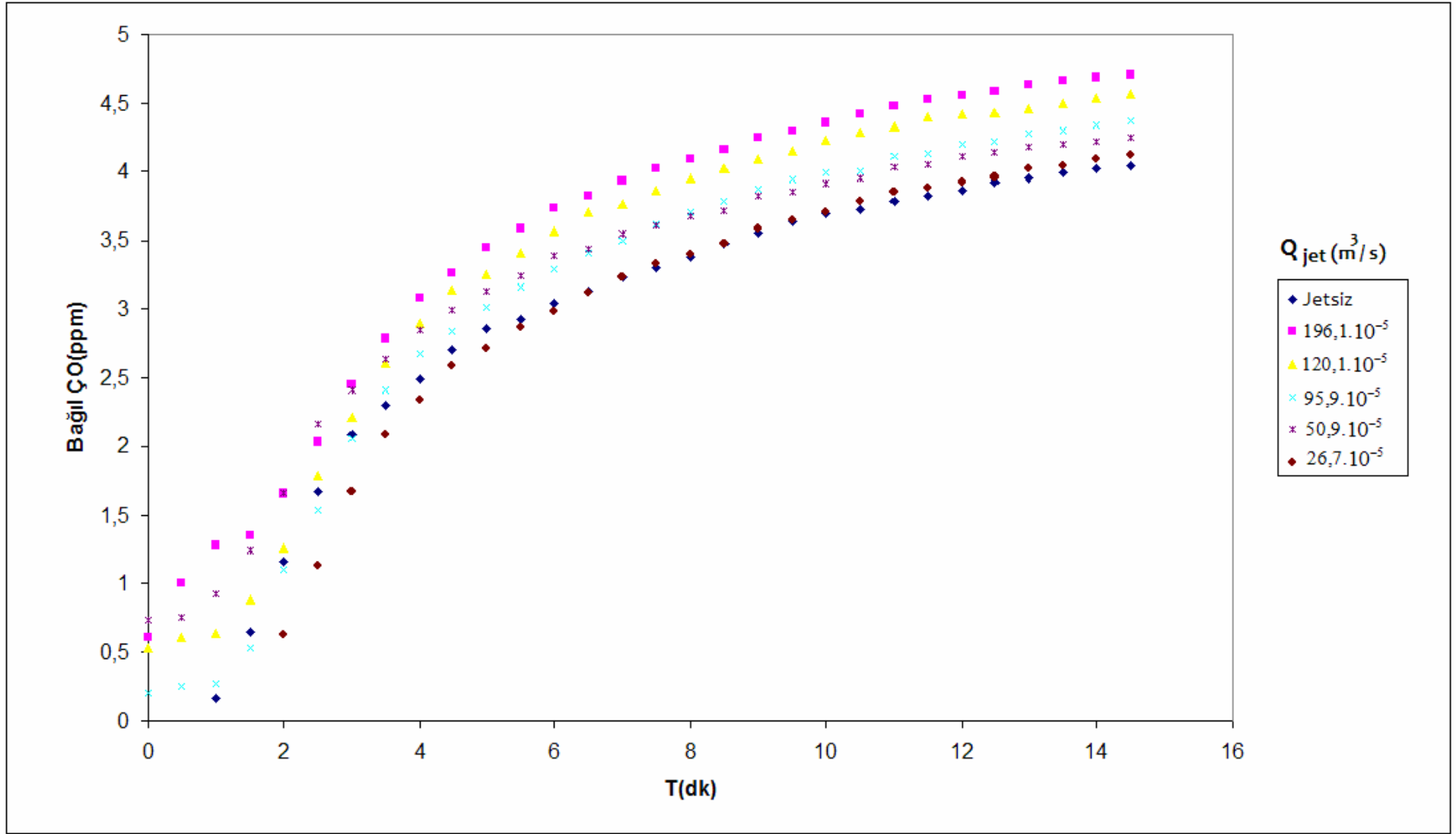
Su jeti, hidrolik sıçramanın L_r uzunluğu içerisinde etki ettirildi. Çünkü; burada meydana gelen makro ölçekli çevrıntilerin ve girdapların sayısının artırılarak oksijen kütle transferinin artışı amaçlandı.

Su jetinin, plunging tipi dalarak ana kanal akımı içerisinde oluşturduğu türbülans kayma bölgesi, hidrolik sıçramanın türbülans kayma bölgesiyle yaklaşık 90° lik bir açıyla çakışmıştır. Böylelikle burada meydana gelen çevrıntilerin ve girdapların hem etkisi hem de sayısı artırılmıştır. Bunun dışında türbülans kayma bölgesinde yatay olarak hareket eden hava kabarcıkları kayma gerilmelerinin çok olduğu yerden az olduğu yere doğru hareket ederler. Kayma gerilmelerinin azalmasıyla hava kabarcıkları birbirlerine yaklaşırlar ve birleşerek büyük hava kabarcıklarını oluştururlar. Bu oluşan daha büyük hava kabarcıkları da kaldırma kuvvetlerinin etkisinde kaynama ve köpüklenme bölgelerine doğru hareket ederler. Kaldırma kuvvetleri ne kadar geç etkili olursa yani kayma gerilmelerinin etkisinin azalması ne kadar gecikirse sistemin havalandırma kapasitesi o kadar fazla olur (Gualteri ve Chanson, 2007). Bu su jetinin etki etmesiyle hidrolik sıçramanın türbülans kayma bölgesindeki kayma gerilmelerinde bir artış sağlanarak, hem su jetinin çarpmasından dolayı oluşan hem de türbülans kayma bölgesinde yatay olarak hareket eden hava kabarcıklarının, L_r uzunluğu içerisinde daha çok yol almaları sağlanmış olur (Şekil 4.23).

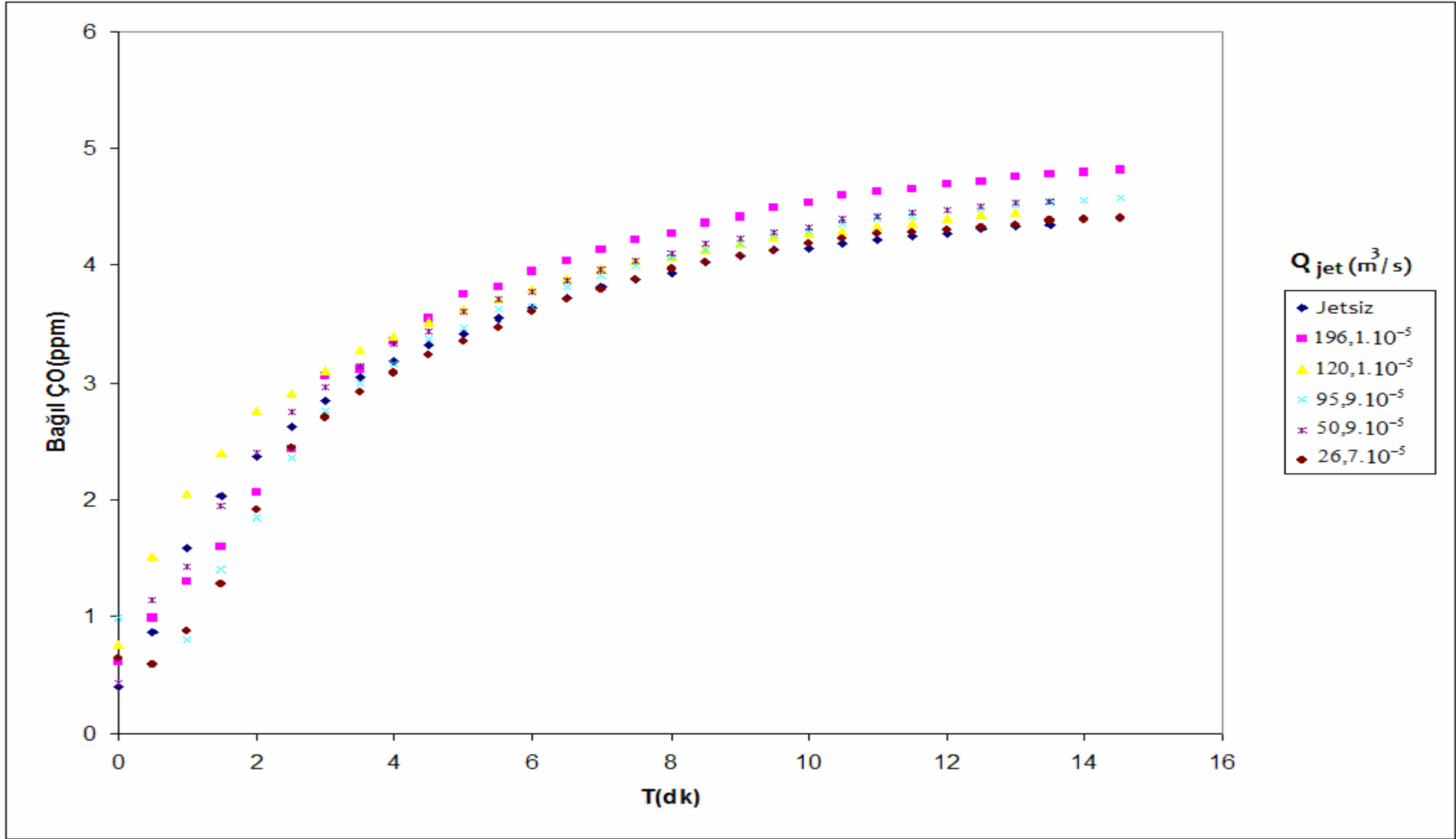
Şekil 4.24, Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'da sırasıyla $Fr_1=3.92$, $Fr_1=4.67$ ve $Fr_1=5.16$ 'da etki ettirilmiş 5 farklı su jeti debisinde bağlı çözülmüş oksijen değerleri karşılaştırılmıştır.



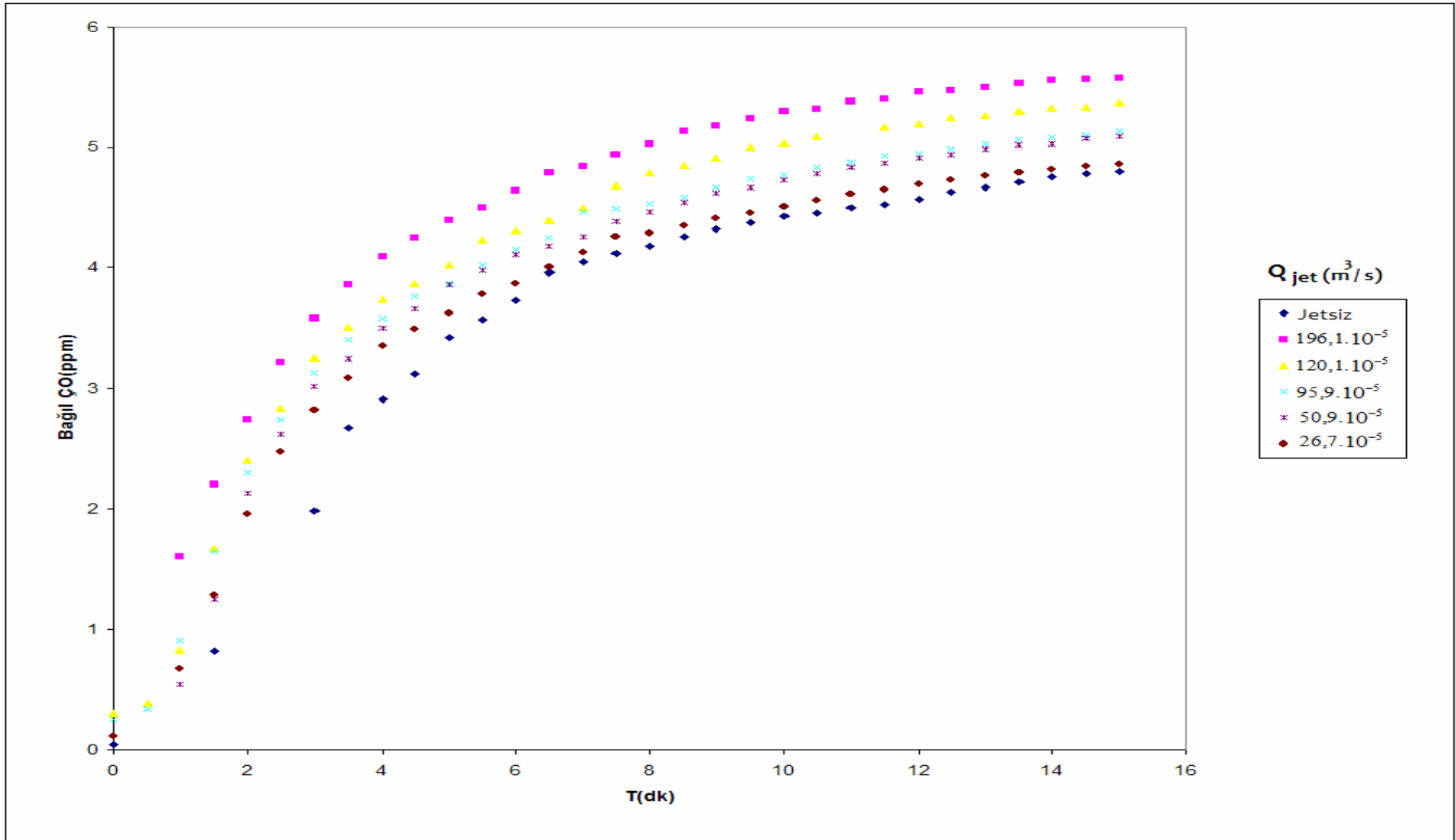
Şekil 4.23 Hidrolik sıçramanın çevri bölgesine çarptırılan su jetinin türbülans kayma bölgesinde meydana getirdiği değişimin şematik gösterimi



Şekil 4.24 $Fr_1=3.92$ olan akım şartlarında bağıl çözünmüş oksijen değerlerinin farklı jet debilerinde değişimi



Şekil 4.25 $Fr_1=4.67$ olan akım şartlarında bağlı çözünmüş oksijen değerlerinin farklı jet debilerinde değişimi



Şekil 4.26 $Fr_1=5.16$ olan akım şartlarında bağıl çözülmüş oksijen değerlerinin farklı jet debilerinde değişimi

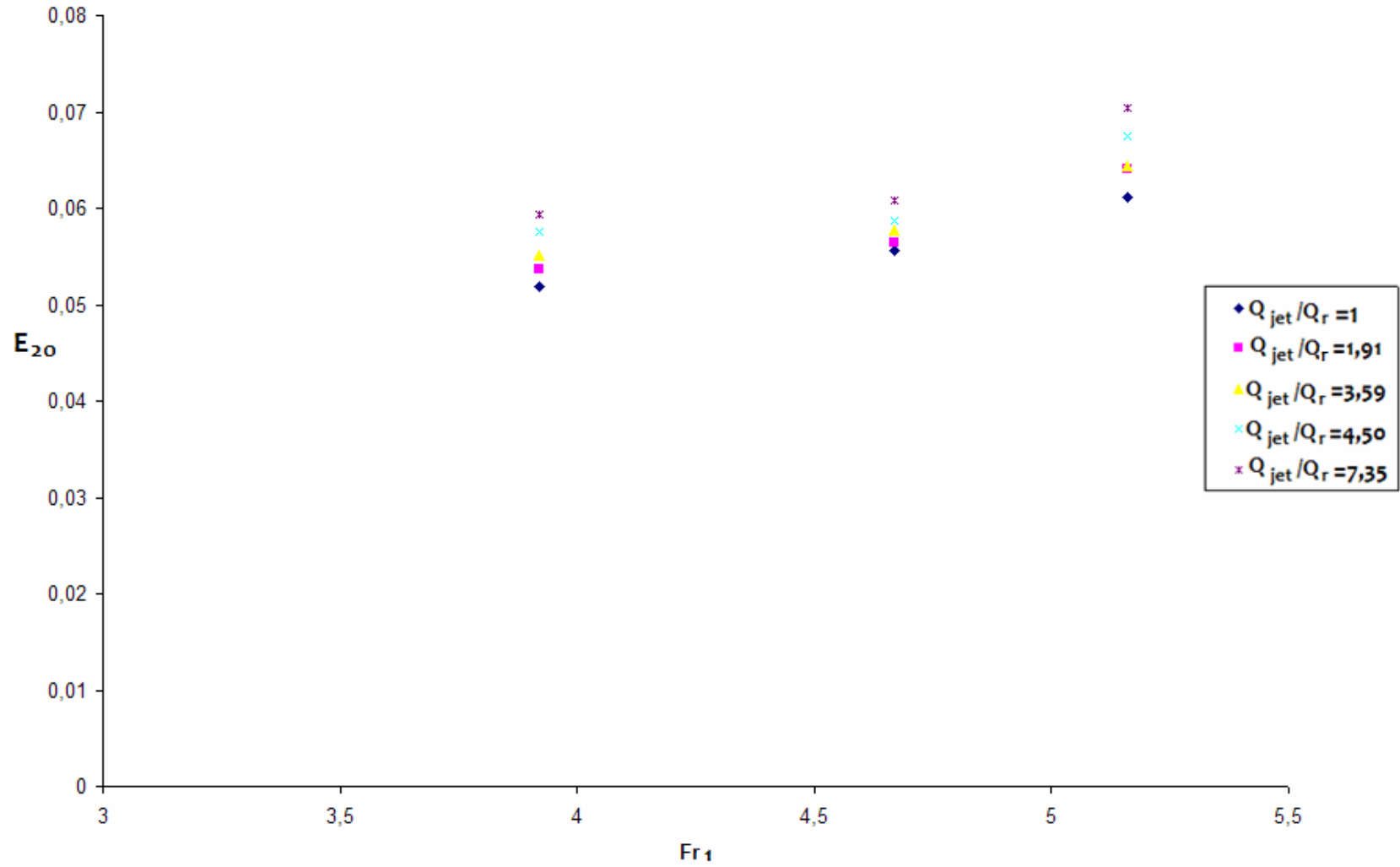
Tüm grafiklerden görüldüğü gibi bağıl çözünmüş oksijen değerinin minimuma indirildiği ve ölçüme başlanıldığı zaman diliminden itibaren ilk 5 dakikalık süre içerisinde değişen jet debilerine bağlı olarak oksijen kazanım değerleri çok farklılıklar göstermektedir. Bu da suya ilave edilen sodyum sülfidin katalizör etkisiyle sudaki çözünmüş oksijeni tüketmesi ve bu tüketimin yanı sıra aynı zaman içinde suyun akışı sırasında oksijen kazanımı olması sudaki çözünmüş oksijen konsantrasyon değerinde bir salınım yaratmaktadır. İlk 5 dakika içerisindeki değerlerin düzensizliğinin bundan ileri geldiği düşünülmektedir. İlk 5 dakikalık süreden sonraki sudaki bağıl çözünmüş oksijen değerinin doygunluk değerine ulaşmaya kadar ki süre içerisindeki oksijen kazanım değerleri incelendiğinde ise tüm Fr_1 sayılarında jet debisinin artmasıyla bağıl çözünmüş oksijen kazanımının arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.27’de aynı Fr_1 sayılarında su jetinin debisinin değişimiyle E_{20} artma eğilimindedir.

Bunun yanı sıra tüm grafikler birlikte değerlendirildiğinde bağıl çözünmüş oksijen miktarlarının zamana bağlı değişim grafiklerine bakıldığında ana kanaldaki akımın Fr_1 sayısı arttıkça suyun çözünmüş oksijen miktarı doygunluk değerine daha kısa sürede ulaşmaktadır.

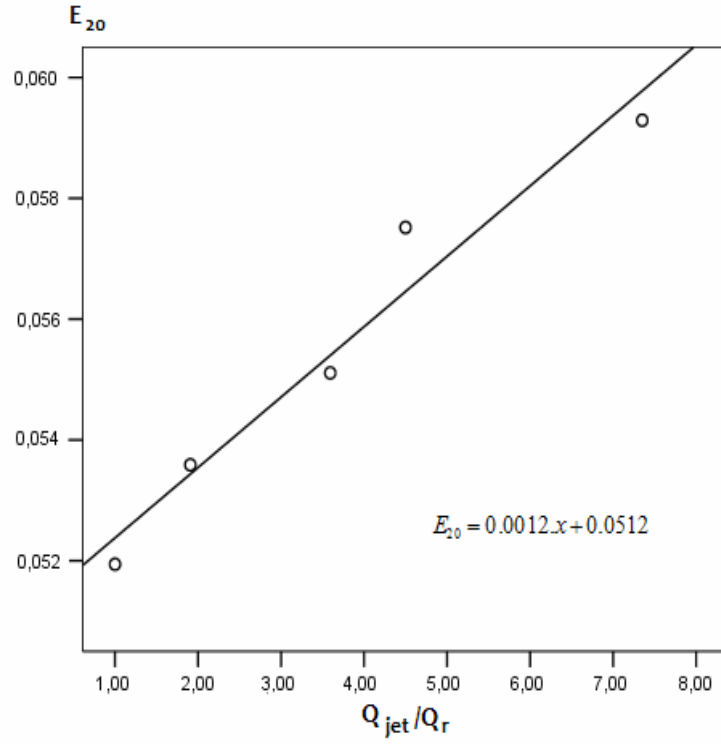
Grafikler incelendiğinde, su jeti debisinin yüksek değerlerinde özellikle $Q_{jet} \geq 95.9 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ olduğu durumlarda tüm Fr_1 sayılarında oksijen transferinin daha çok arttığı gözlemlenmiştir. Yapılan SPSS analizi sonucunda, Şekil 4.28, Şekil 4.29 ve Şekil 4.30’da üç farklı Fr_1 sayısında, deneysel çalışmada uygulanan en küçük su jeti debisiyle boyutsuzlaştırılmış su jeti debileriyle havalandırma verimlilikleri arasındaki değişim incelenmiştir (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3 Üç farklı Fr_1 sayısında su jeti debisinin değişimine bağlı E_{20} denklemleri

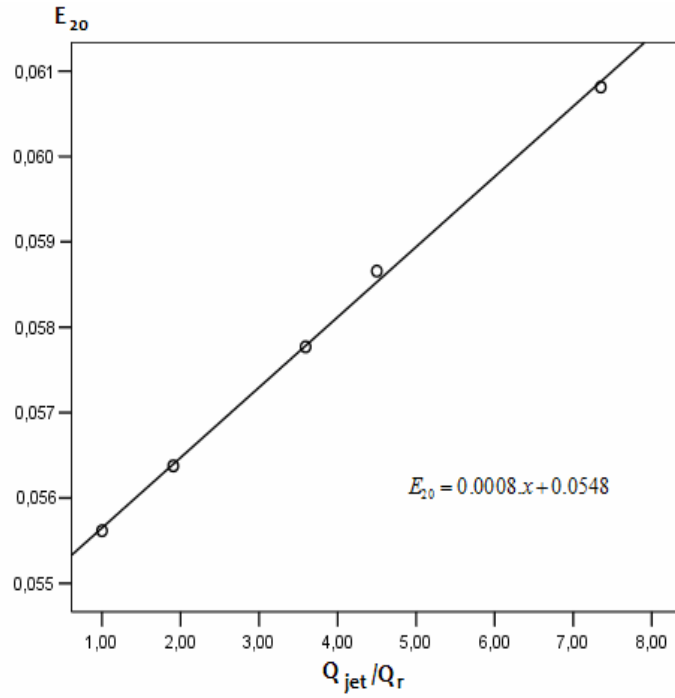
Fr_1	E_{20} Denklemi
3.92	$E_{20} = 0.0012.x + 0.0512$
4.67	$E_{20} = 0.0008.x + 0.0548$
5.16	$E_{20} = 0.0014.x + 0.0603$



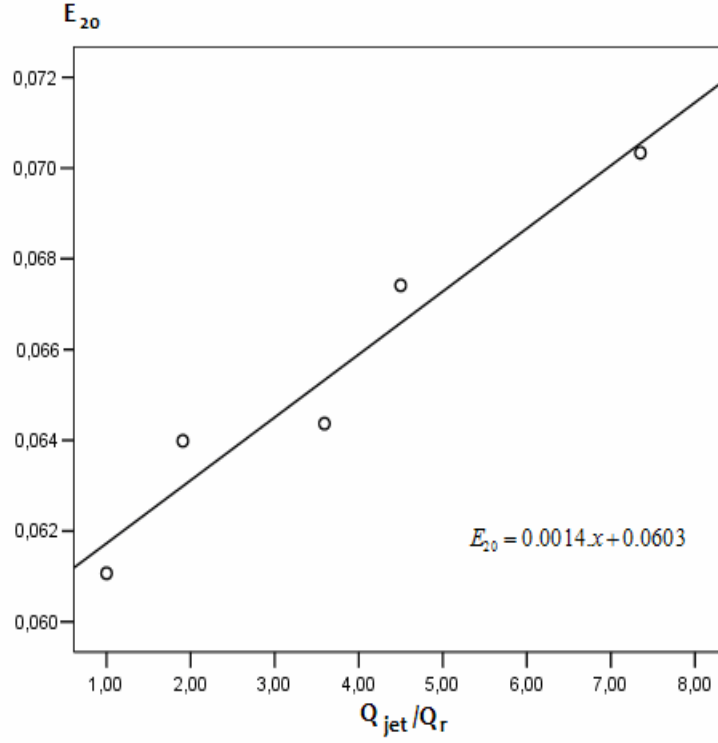
Şekil 4.27 Aynı Froude sayısında su jeti debisindeki değişime göre havalandırma verimlilikleri



Şekil 4.28 $Fr_1=3.92$ akım şartlarında E_{20} 'nin su jeti debisine göre değişimi



Şekil 4.29 $Fr_1=4.67$ akım şartlarında E_{20} 'nin su jeti debisine göre değişimi



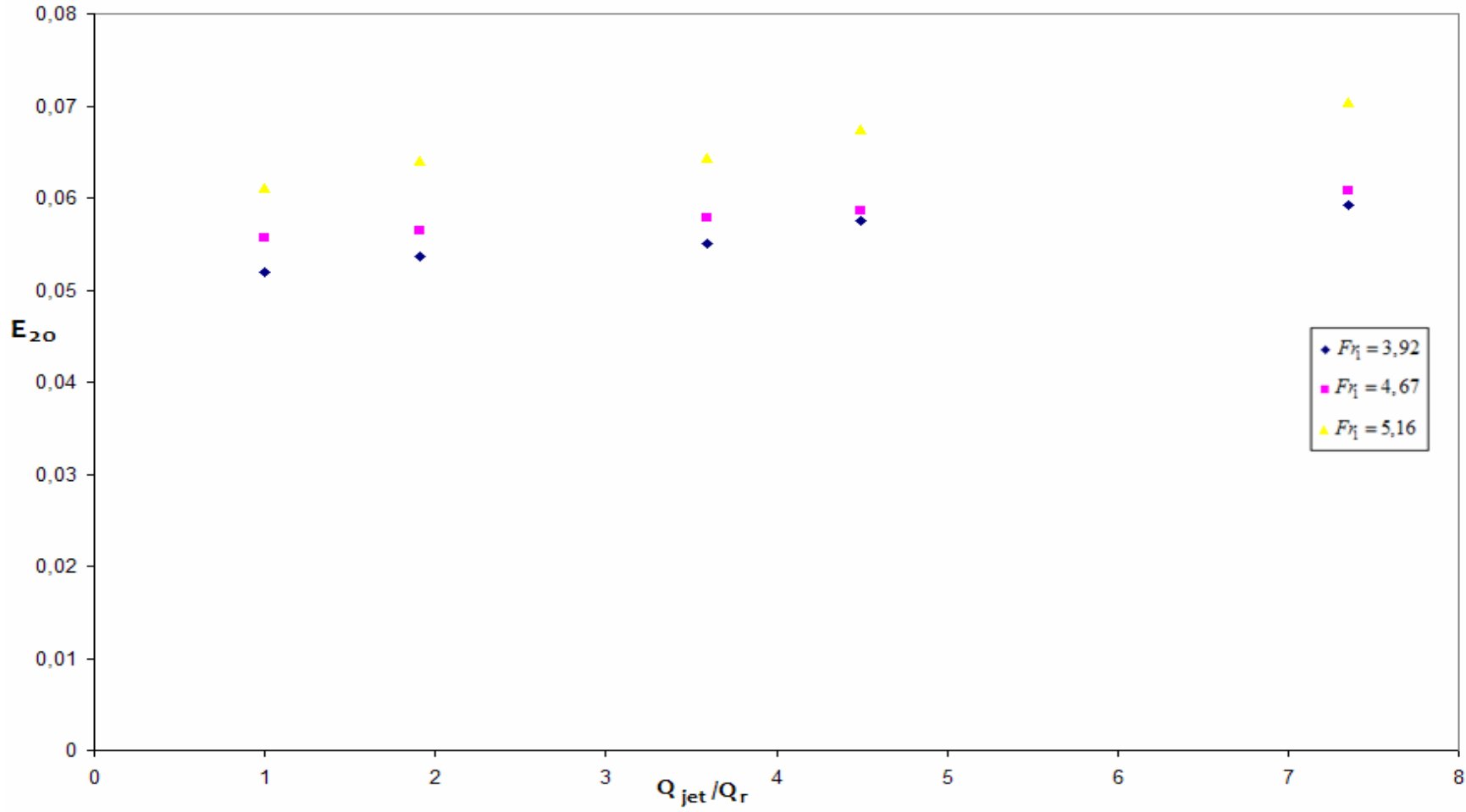
Şekil 4.30 $Fr_1=5.16$ akım şartlarında E_{20} 'nin su jeti debisine göre değişimi

Su jeti debisindeki 1 birimlik artış olduğu zaman; $Fr_1=3.92$ sayısında E_{20} 'de 0.052 birim; $Fr_1=4.67$ sayısında E_{20} 'de 0.056 birim ve $Fr_1=5.16$ sayısında ise E_{20} 'de 0.062 birimlik bir artış ölçülmüştür.

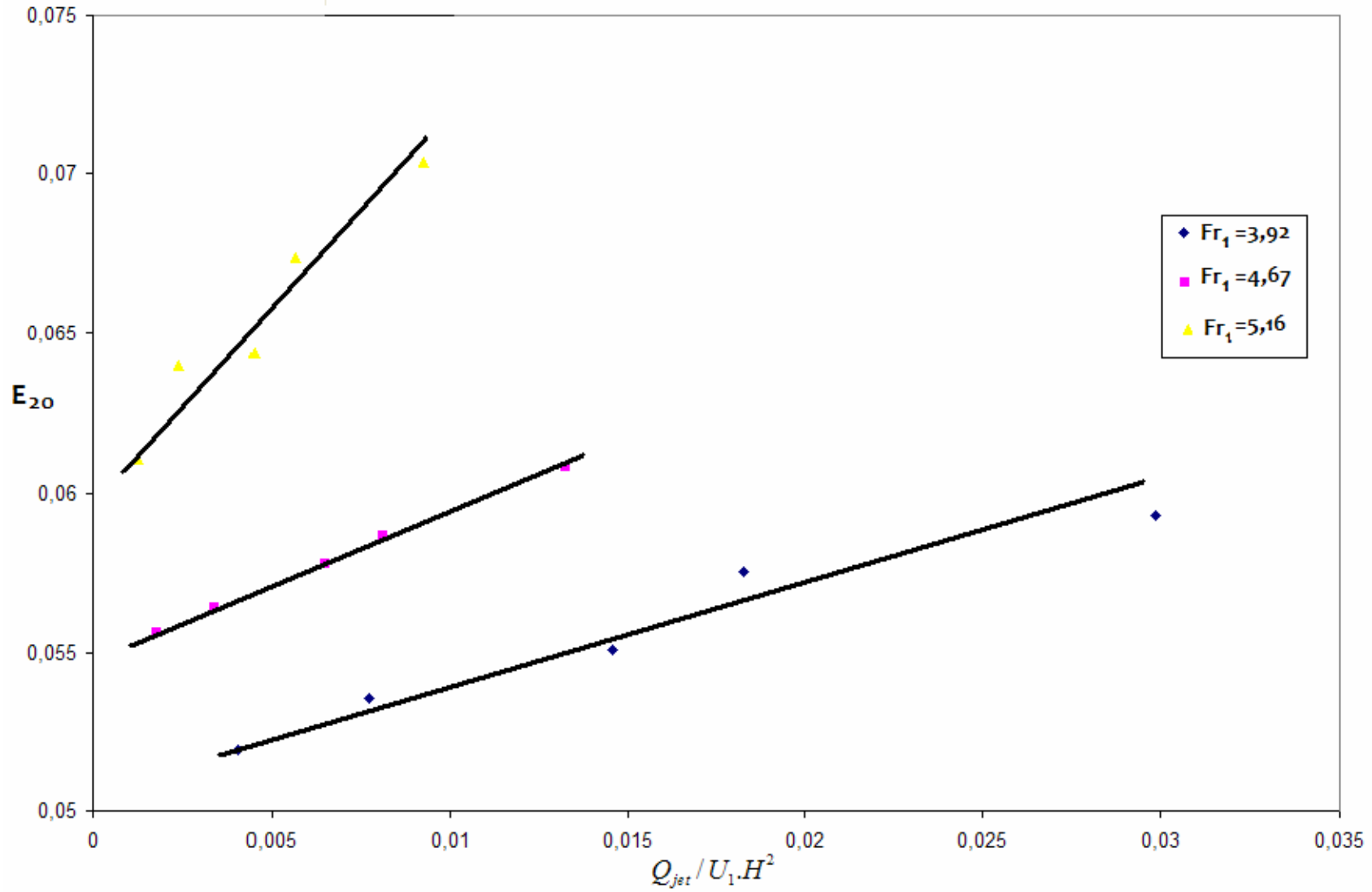
Jet debisindeki değişimlerde $Fr_1=5.16$ akım şartlarında E_{20} değeri en büyük artışı göstermiştir. Yüksek Fr_1 sayılarında jet debisinin artışına bağlı olarak havalandırma verimliliğindeki artış; düşük Fr_1 sayılarına oranla daha büyük olmaktadır.

Aynı su jeti debisine sahip akım şartlarında ana kanal akımındaki Fr_1 sayısının değişimiyle havalandırma verimliliği Şekil 4.31'de incelenmiştir. Grafik incelendiğinde; aynı su jeti debisinde Fr_1 sayısı arttıkça havalandırma verimliliği de artmaktadır. Özellikle havalandırma verimliliğinin artışı $4.67 < Fr_1 < 5.16$ arasında; $3.92 < Fr_1 < 4.67$ 'ye oranla daha büyük olmuştur.

Ana kanal akımının debisi artarken havalandırma verimliliği artmaktadır. Bununla birlikte su jetinin debisi arttıkça da havalandırma verimliliği artmaktadır (Şekil 4.32).



Şekil 4.31 Aynı su jeti debisinde farklı Froude sayılarında havalandırma verimliliğinin değişimi



Şekil 4.32 Havalandırma verimliliğinin $Q_{jet} / (U_1 \cdot H^2)$ göre değişimi

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada; 0.40 m genişliğindeki açık bir kanalda $Fr_1=3.55-6.07$ arasındaki 6 farklı Fr_1 sayısında hidrolik sıçramanın havalandırma verimliliği araştırılmıştır. Bunun yanında $Fr_1=3.92$, $Fr_1=4.67$ ve $Fr_1=5.16$ 'da hidrolik sıçramanın çevri bölgesine etki ettirilmiş 5 farklı su jeti debisinde de hidrolik sıçramanın havalandırma verimliliğini araştırmak üzere yapılan deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

1. Yapılan SPSS analizleri sonucunda kapak arkası ve hidrolik sıçrama sonrası alınan zamana bağlı değişen çözünmüş oksijen eğrilerinin en uygun değişiminin üçüncü dereceden bir denklem olan $a + bx^3 + cx^2 + dx$ ile ifade edilebildiği görülmüştür.
2. Ana kanaldaki akım sırasında, kapak arkasında ve hidrolik sıçrama sonrasında ölçülen değerlerden çözünmüş oksijen konsantrasyonunun ilk 5 dakika içerisinde hızlı bir şekilde arttığı (çözünmüş oksijen kazanımının fazla olduğu), 5 dakikadan sonra çözünmüş oksijen konsantrasyonunun artışı zamana bağlı olarak azalma göstermektedir.
3. Sudaki çözünmüş oksijen eksikliği ne kadar fazla ise çözünmüş oksijen kazanımı o kadar fazla, oksijen eksikliği ne kadar az ise çözünmüş oksijen kazanımı o kadar az olmaktadır. Yani sudaki çözünmüş oksijen miktarı arttıkça çözünmüş oksijen kazanımı azalmaktadır.
4. Farklı Froude sayılarında yapılan ölçümlerde hidrolik sıçramanın sudaki çözünmüş oksijen miktarının artması da etkili olduğu belirlenmiştir. $Fr_1=3.55-6.07$ aralığında değişimi esnasında havalandırma verimliliği E_{20} ; yaklaşık % 65 dolaylarında artış göstermiştir.
5. Rölatif enerji kaybı arttıkça, havalandırma verimliliği artmaktadır. Bu değişim ise 1 birim rölatif enerji kaybı olduğu zaman havalandırma verimliliğinde 0.046 artış olarak ölçülmüştür.
6. Hidrolik sıçramanın türbülans kayma bölgesi üzerine çarptırılan su jeti, bu bölgede eddylerin ve vortekslerin oluşumunu artırmaktadır. Oksijen transferinde etkili olan makro ölçekli çevrintilerin ve girdapların sayısının artmasıyla da oksijen transferinin kütlesi artmaktadır. Bunun dışında türbülans kayma bölgesinde meydana gelen kayma gerilmelerini artırarak hidrolik sıçrama esnasında oluşan hava kabarcıklarının çevri uzunluğu içerisinde daha çok yol almaları sağlanmaktadır.
7. Hidrolik sıçrama durumundaki çözünmüş oksijen kazanımı ile, hidrolik sıçrama ve su jeti kombinasyonu durumundaki çözünmüş oksijen kazanımının zamana bağlı olarak değişimi aynı eğilimi göstermektedir.

8. Hidrolik sıçramaya su jeti etki ettirildiğinde çözülmüş oksijen kazanımı artmaktadır. Yani etki ettirilen su jeti, hidrolik sıçrama sırasında meydana gelen oksijen kazanımına ek olarak fazladan bir oksijen kazanımı sağlamaktadır.
9. Su jeti debisinin artmasıyla aynı Fr_1 sayılarında havalandırma verimliliğinde artışlar görülmektedir. Yüksek Fr_1 sayılarında jet debisinin artışına bağlı olarak havalandırma verimliliğindeki artış; düşük Fr_1 sayılarına oranla daha büyük olmaktadır.
10. Bundan sonraki çalışmalarda; hidrolik sıçrama esnasında oluşan kayma gerilmelerinin yenilmesi ve durağan bir hidrolik sıçramada deneylerin yapılabilmesi için $Fr_1=3$ 'den ve $Q_{jet}=20.10^{-5}$ m³/s'den küçük olmaması şartıyla daha yüksek Fr_1 ve Q_{jet} değerlerinde deneylerin yapılması önerilir.
11. Su jetinin, hidrolik sıçramanın türbülans kayma bölgesinde meydana getirdiği hava kabarcıklarının fractile değişken yöntemiyle incelenmesi, havalandırma verimliliğinde meydana gelen değişimi açıklaması açısından doğru bir yöntem olacaktır.
12. Bu çalışmada düşey kapak altı su yüksekliği a sabit tutulmuştur. Bu nedenle düşey kapak arkası su yüksekliği olan H deneysel sonuçlarda önemli bir parametre olarak dikkat çekmiştir. Bundan sonraki çalışmalarda kapak altı su yüksekliğinin de değiştirilerek deneylerin yapılması önerilir.

KAYNAKLAR

- Aigner, D., (2001), "Hydraulic Design of Pooled Step Cascades.", XXIX IAHR-Congress, Beijing, China 16.-21.09.2001, Proceedings S.635.
- Bakhmateff, B.A. ve Matzke, A.E. (1936), "The Hydraulic Jump in Terms of Dynamic Similarity", ASCE, 101: 630–680.
- Bayram, N., (2004), Sosyal Bilimlerde SPSS ile Veri Analizi, Ezgi Kitabevi, Bursa.
- Berkun, M. ve Aras E., (2010), "Comparison of Stepped and Smooth Spillway Effects on Stream Reaeration", Water SA, 36.
- Bostan T., (2004), "Dalga Kırılmasının Hidrolik Sıçrama Analjisi ile Modellenmesi", Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Chanson, H., (1994), "Hydraulic Design of Stepped Cascade, Channels, Weirs and Spillways", Pregamon Press, Great Britain.
- Chanson, H., (2007), "Air Entrainment processes in a full-scale rectangular dropshaft at large flows", Journal of Hydraulic Research 45: 43-53.
- Colt, J., (1984), "Computation of Dissolved Gas Concentration In Water As Functions of Temperature Salinity and Pressure", Fisheries Society Special Publication, 14, Bethesda, MD.
- Dhaimat, O.H., (1986), "Mean Flow and Turbulence Characteristics of Submerged Jump" Thesis Presented University of Manchester, UMIST.
- Falvey, H.T., (1980), Air-Water Flow In Hydraulic Structures, United States Department of The Interior Water and Power Resources Service.
- Gameson, A.L.H., (1957), "Weirs and aeration of rivers", J.Inst. Water Engrg, 11:477-490.
- Garg, S.P. ve Sharma, H.R., (1971), "Efficiency of Hydraulic Jump", Journal of The Hydraulic Divisions, Proc. of The ASCE, 97: 409-419.
- Gualtieri, C. ve Chanson, H., (2007), " Experimental Analysis of Froude Number Effect On Air Entrainment in The Hydraulic Jump", Environ Fluid Mech, 7: 217-238.
- Gulliver, J.S. ve Rindels, A.J., (1990), "Indexing Gas Transfer In Self-Aerated Flows", J.Envir.Engrg, ASCE, 116:503-523.
- Günel, M., (1992), "Formation of The Hydraulic Jump on Sloping Channels", Ms.C Thesis, University of Manchester, UMIST.
- Hager, W.H. ve Bremen, R., (1989), "Classical Hydraulic Jump: Sequent Depths" Journal of Hydraulic Research, 27: 565-586.
- Hager, W.H., Bremen, R. ve Kawagoshi N., (1990), "Classical Hydraulic Jump: Length of Roller", Journal of Hydraulic Research, 28: 591-608.

- Hoyt, J.W., ve Sellin, R.H.J., (1989), "Hydraulic Jump: Sequent Depths", *Journal of Hydraulic*, 27: 565-686.
- Kucukali, S., (2002), "Açık Kanallarda Oksijen Transferi", Yüksek Lisans tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kucukali, S., (2006), "Hidrolik Sıçramanın Havalandırma Verimliliğinin İncelenmesi", Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Leutheusser, H.J. ve Kartha, V.C., (1972), "Effects of Inflow Condition on Hydraulic Jump", *Journal of the Hydraulic Division, Proc. of the ASCE*, 98: 1367-1385.
- Leutheusser, H.J., Resch, F.J., ve Alemu, S., (1973), "Water Quality Enhancement Through Hydraulic Aeration", XV IAHR Congress, Istanbul, Turkey, 2-7 September, 167-175.
- Long, D., Rajatman, N., Steffler, P.M. ve Smy, P.R., (1991), "Structure of Flow in Hydraulic Jumps" *Journal of Hydraulic Research, Iahr*, 29(2): 207-208
- Madsen, P.A. ve Svendsen, I.A., (1983), "Turbulent Bores and Hydraulic Jumps", *Journal of Fluid Mechanics*, 129, 1-25.
- Mccorquodale, J. ve Khalifa, A., (1983), "Internal Flow in a Hydraulic Jump", *Journal of Hydraulic Div., ASCE*, 106(3): 355-367.
- Murzyn, F. ve Chanson, H., (2008), "Experimental Investigation of Bubbly Flow and Turbulence in Hydraulic Jumps", *Environ Fluid Mech*, 9:143-159.
- Narayanan, R., (1975), "Wall Jet Analogy to Hydraulic Jump", *J. Hydraulic Div., ASCE*, 101(3): 347-359.
- Peker, İ., (2007), Çevre Mühendisliği Kimyası, Birsen Yayınevi, İstanbul
- Rajaratnam, N., (1961) "An Experimental Study of Air Entrainment Characteristics of Hydraulic Jump", *J. Institution of Engineers (India)*, 42., 247-273.
- Rajaratnam, N., (1965), "The Hydraulic Jump as a Wall Jet" *Journal of Hydraulic Division, Proc. Of The ASCE*, 91(5): 107-132.
- Rajaratnam, N., (1967), "Hydraulic jumps", *Advances in Hydroscience*, Ed. V. T. Chow, Academic Pres, New York USA, 4:197-280.
- Rajaratnam, N., ve Subramanya, K., (1968), "Profile of The Hydraulic Jump", *J. Hydraulic Div., ASCE*, 94(3):663-673.
- Renner, J., (1975), "Air Entrainment in Surface Rollers", *Proceedings of the Symposium on Design and Operation of Siphon Spillways*, 1:48-56, England.
- Resch, F.J., Leutheusser, H.G. ve Alemu, S., (1974), "Bubbly Two-Phase Flow in Hydraulic Jump", *J. Hydr. Div., Am. Soc. Civ. Enrgs* 100: 137-149.
- Sümer, B.M., Ünsal, İ. ve Bayazıt, M., (1982), Hidrolik, Birsen Yayınevi, İstanbul.

Wielogorski, J.W. ve Wilson, E.H., (1970), "Nondimensional Profile Area Coefficients for Hydraulic Jump in Sloping Rectangular Channels", *Water Power*, 22(4): 144-150.

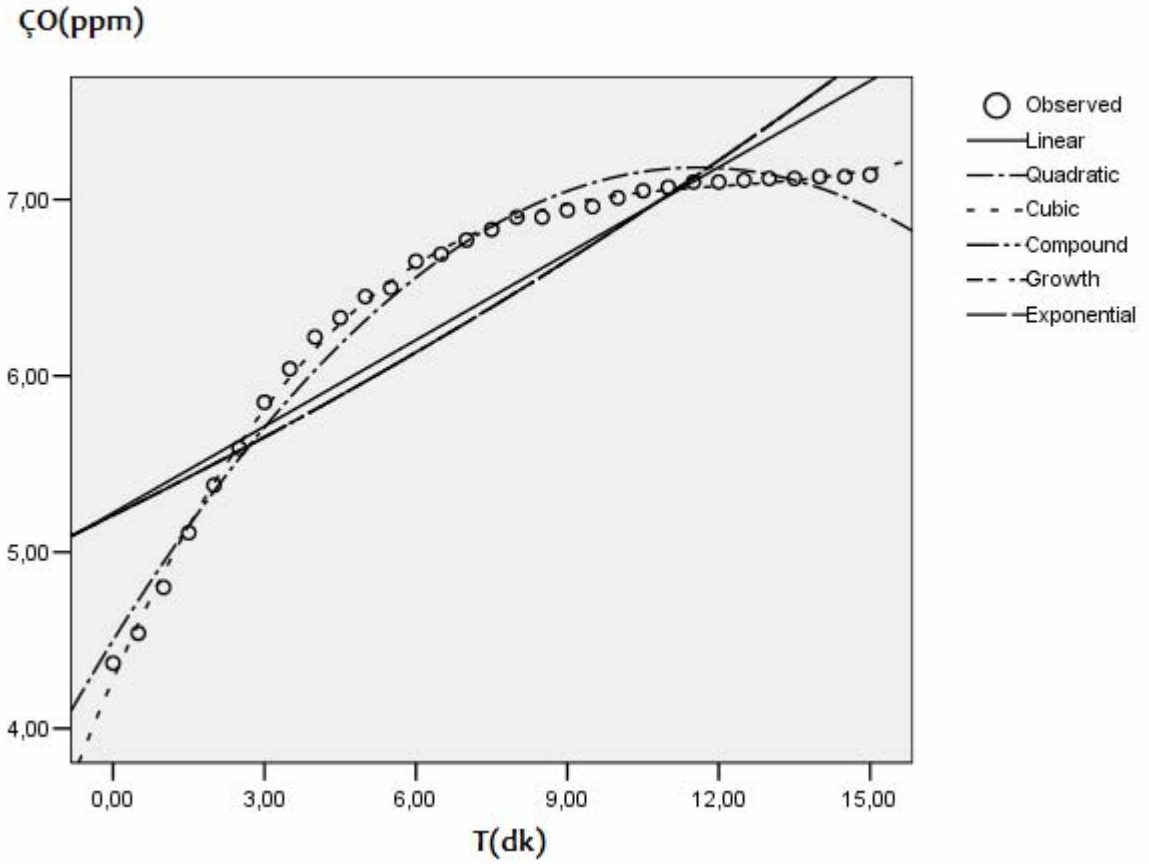
Yüksel, Y., (2000), *Teori ve Çözümlü Problemleri ile Bilgisayar Uygulamalı Akışkanlar Mekaniği ve Hidrolik*, Beta Yayınevi.

EKLER

Ek 1	Kapak Arkası ve Hidrolik Sıçrama Sonrası ÇO(ppm) Ölçümlerinin SPSS Programında Analizi.....	67
Ek 2	Fr ₁ ve E20 arasındaki ilişkinin SPSS Analizi ile İncelenmesi.....	109
Ek 3	E20 ve ΔH/H arasındaki ilişkinin SPSS Analizi ile İncelenmesi.....	110
Ek 4	Fr ₁ = 3,92'de E20 ve Qjet/Qr'nin SPSS Analizi ile İncelenmesi.....	111
Ek 5	Fr ₁ = 4,67'de E20 ve Qjet/Qr'nin SPSS Analizi ile İncelenmesi.....	112
Ek 6	Fr ₁ = 5,16'da E20 ve Qjet/Qr'nin SPSS Analizi İle İncelenmesi.....	113

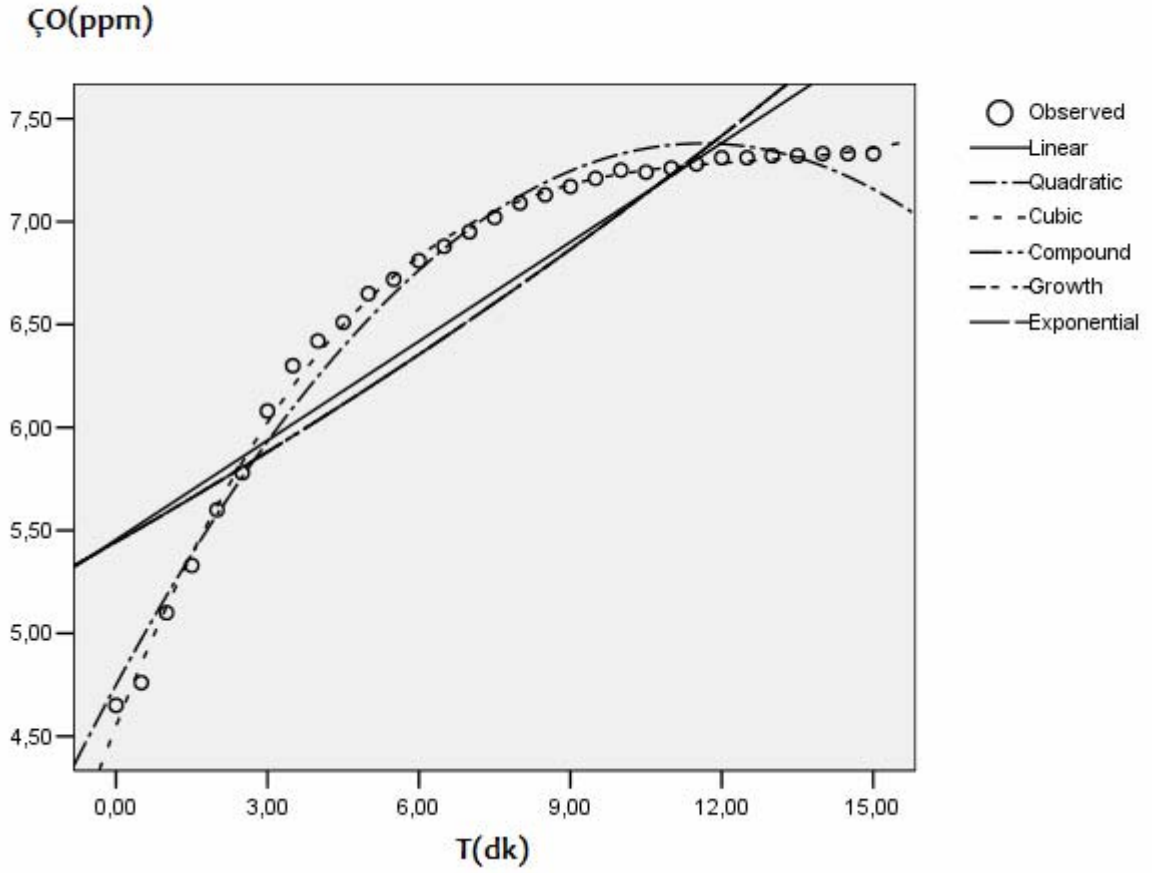
Ek 1 Kapak Arkası ve Hidrolik Sıçrama Sonrası ÇO(ppm) Ölçümlerinin SPSS Programında Analizi

Fr1=3.55-Kapak Arkası Ölçümleri



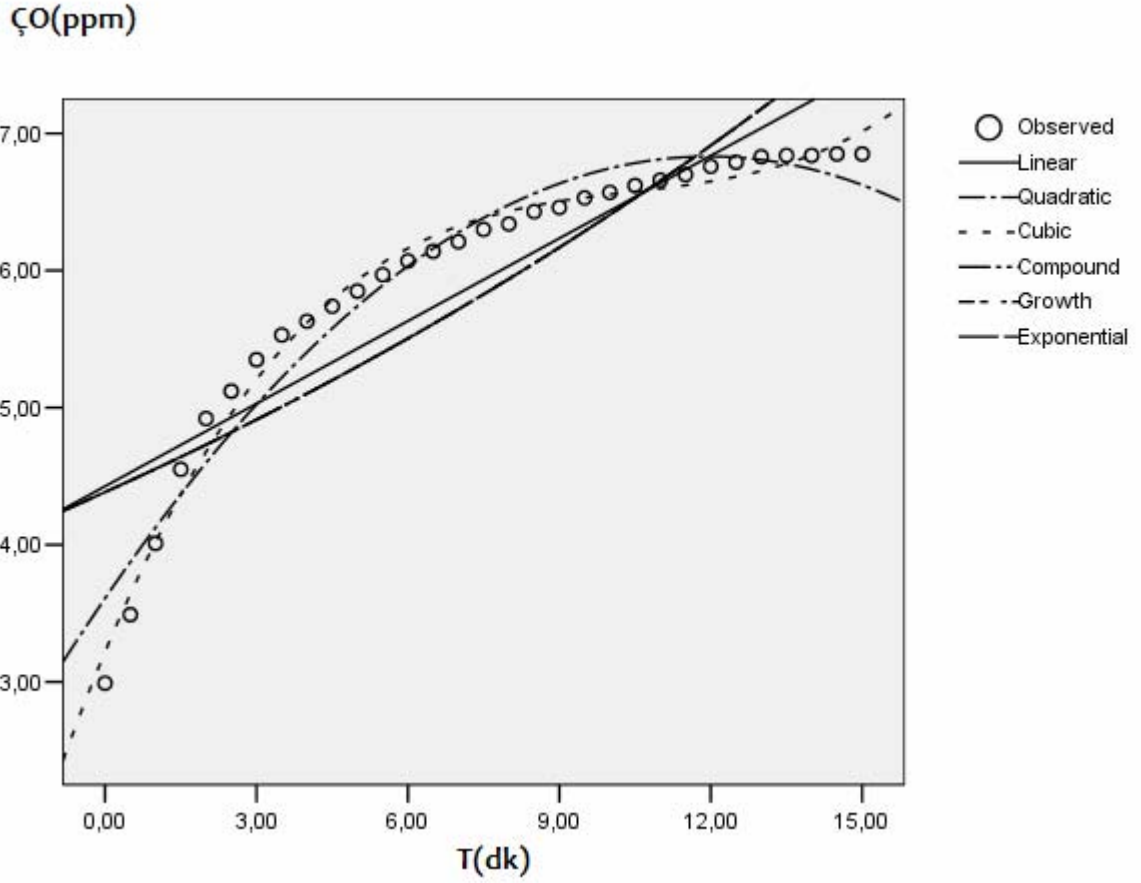
Model Summary and Parameter Estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,794	111,453	1	29	,000	5,223	,163		
Logarithmic(a)	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Inverse(b)	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Quadratic	,983	793,631	2	28	,000	4,499	,463	-,020	
Cubic	,998	4385,933	3	27	,000	4,278	,656	-,053	,001
Compound	,752	87,800	1	29	,000	5,209	1,028		
Power(a)	.	.	.	.	.	.	.	.	.
S(b)	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Growth	,752	87,800	1	29	,000	1,650	,027		
Exponential	,752	87,800	1	29	,000	5,209	,027		

Fr₁=3.55-Hidrolik Sıçrama Sonrası Ölçümleri

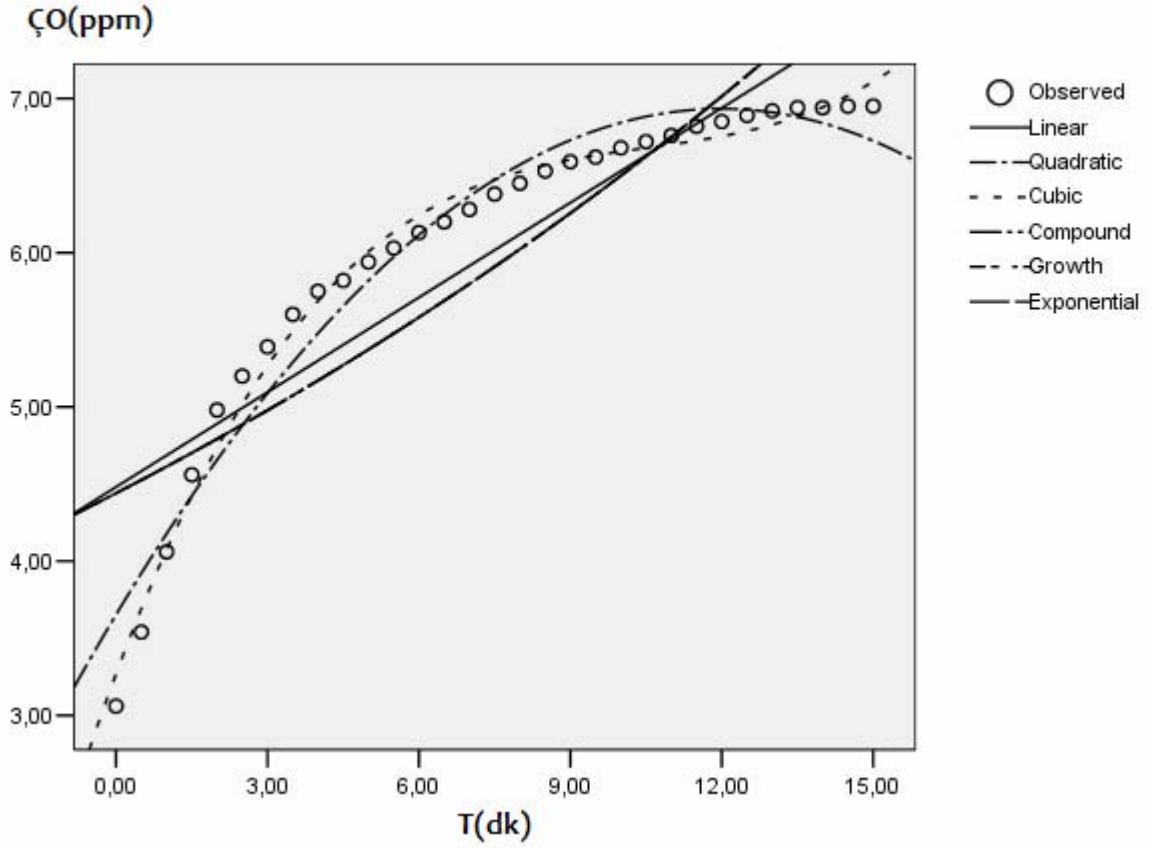
Model Summary and Parameter Estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,798	114,258	1	29	,000	5,455	,161		
Logarithmic(a)	.	.	.	.	.	.	.
Inverse(b)	.	.	.	.	.	.	.
Quadratic	,985	894,192	2	28	,000	4,749	,453	-,019	
Cubic	,998	3593,480	3	27	,000	4,550	,626	-,049	,001
Compound	,759	91,245	1	29	,000	5,444	1,026		
Power(a)	.	.	.	.	.	.	.
S(b)	.	.	.	.	.	.	.
Growth	,759	91,245	1	29	,000	1,694	,026		
Exponential	,759	91,245	1	29	,000	5,444	,026		

Fr₁=3.92-Kapak Arkası Ölçümleri

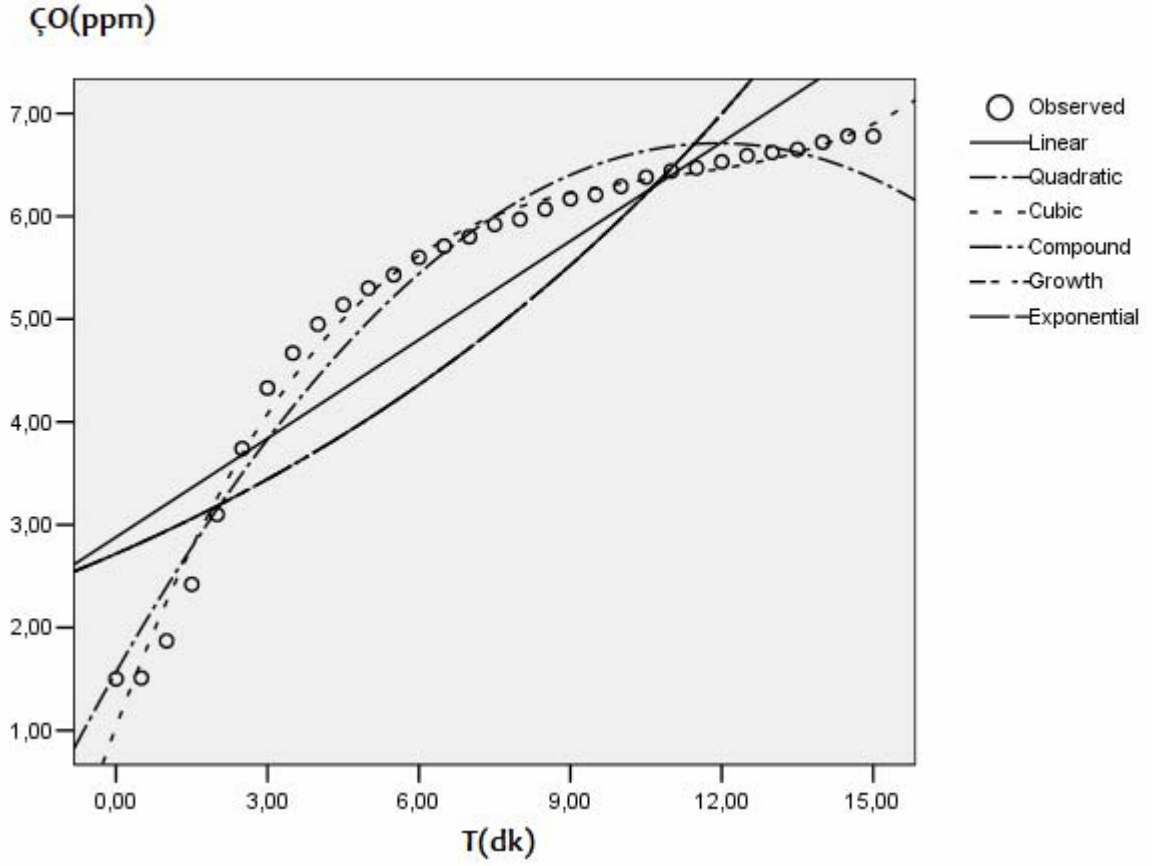
Model Summary and Parameter Estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,797	113,540	1	29	,000	4,426	,201		
Logarithmic	.	.	.	.	.	.	.
Inverse	.	.	.	.	.	.	.
Quadratic	,956	305,755	2	28	,000	3,610	,539	-,023	
Cubic	,988	742,250	3	27	,000	3,218	,880	-,080	,003
Compound	,706	69,798	1	29	,000	4,384	1,039		
Power	.	.	.	.	.	.	.
S	.	.	.	.	.	.	.
Growth	,706	69,798	1	29	,000	1,478	,038		
Exponential	,706	69,798	1	29	,000	4,384	,038		

Fr₁=3.92-Hidrolik Sıçrama Sonrası Ölçümleri

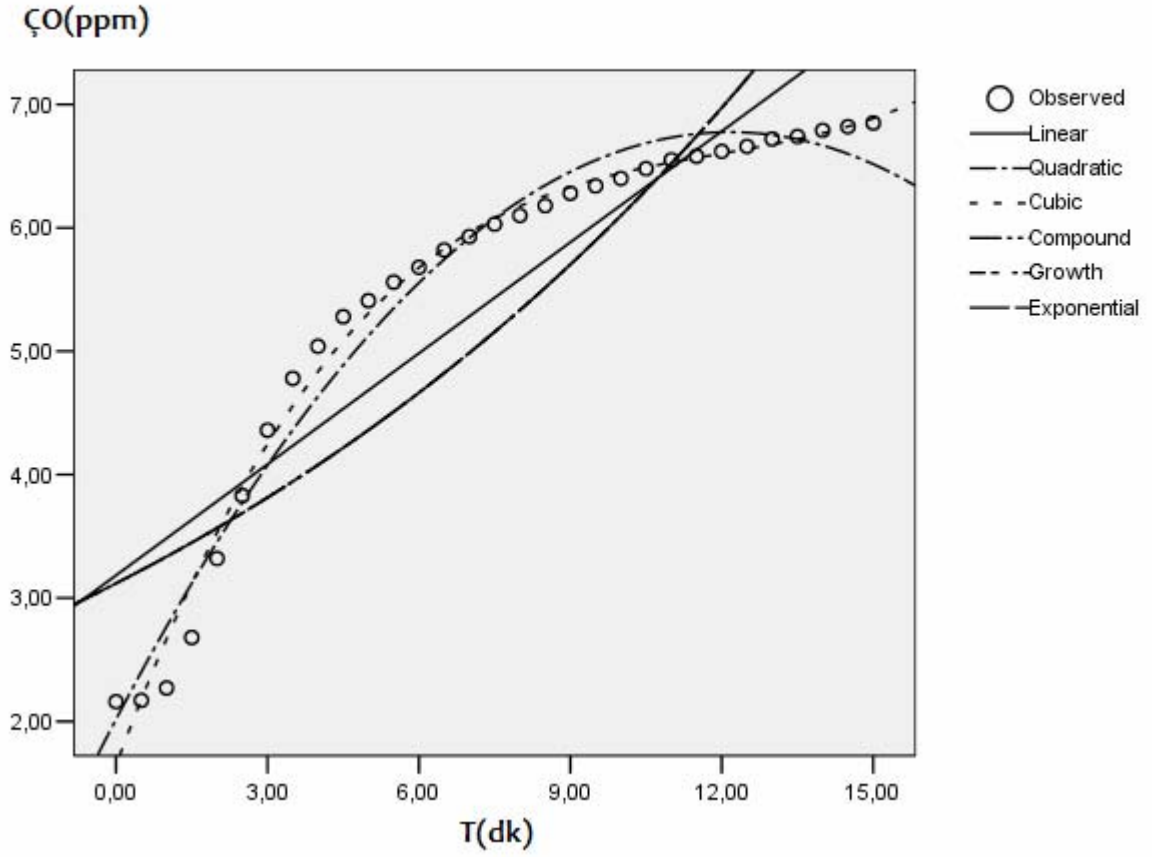
Model Summary and Parameter Estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,800	116,279	1	29	,000	4,481	,205		
Logarithmic(a)	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Inverse(b)	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Quadratic	,959	328,554	2	28	,000	3,653	,547	-,023	
Cubic	,989	790,278	3	27	,000	3,269	,882	-,080	,003
Compound	,712	71,820	1	29	,000	4,441	1,039		
Power(a)	.	.	.	.	.	.	.	.	.
S(b)	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Growth	,712	71,820	1	29	,000	1,491	,038		
Exponential	,712	71,820	1	29	,000	4,441	,038		

$Fr_1=3.92$ ve $Q_{jet}=26.7 \cdot 10^{-5}$ m³/s-Kapak Arkası Ölçümleri

Model Summary and Parameter Estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,802	117,782	1	29	,000	2,880	,320		
Logarithmic(a)	.	.	.	.	.	.	.
Inverse(b)	.	.	.	.	.	.	.
Quadratic	,966	400,519	2	28	,000	1,568	,863	-,036	
Cubic	,990	850,386	3	27	,000	1,036	1,326	-,115	,003
Compound	,666	57,811	1	29	,000	2,718	1,082		
Power(a)	.	.	.	.	.	.	.
S(b)	.	.	.	.	.	.	.
Growth	,666	57,811	1	29	,000	1,000	,079		
Exponential	,666	57,811	1	29	,000	2,718	,079		

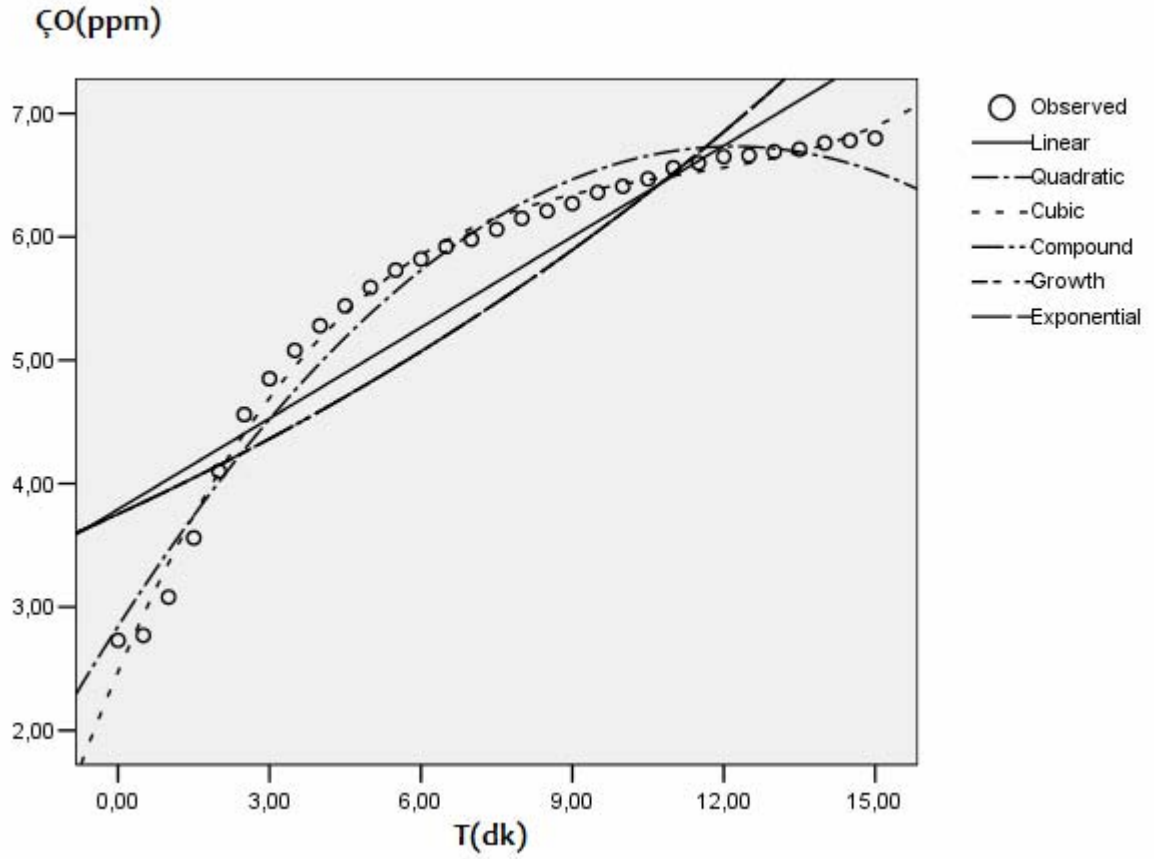
$Fr_1=3.92$ ve $Q_{jet}=26.7 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ -Hidrolik Sıçrama Sonrası Ölçümleri



Model Summary and Parameter Estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,823	134,959	1	29	,000	3,184	,300		
Logarithmic(a)	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Inverse(b)	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Quadratic	,974	528,753	2	28	,000	2,018	,783	-,032	
Cubic	,987	709,189	3	27	,000	1,647	1,106	-,087	,002
Compound	,721	75,083	1	29	,000	3,119	1,069		
Power(a)	.	.	.	.	.	.	.	.	.
S(b)	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Growth	,721	75,083	1	29	,000	1,138	,067		
Exponential	,721	75,083	1	29	,000	3,119	,067		

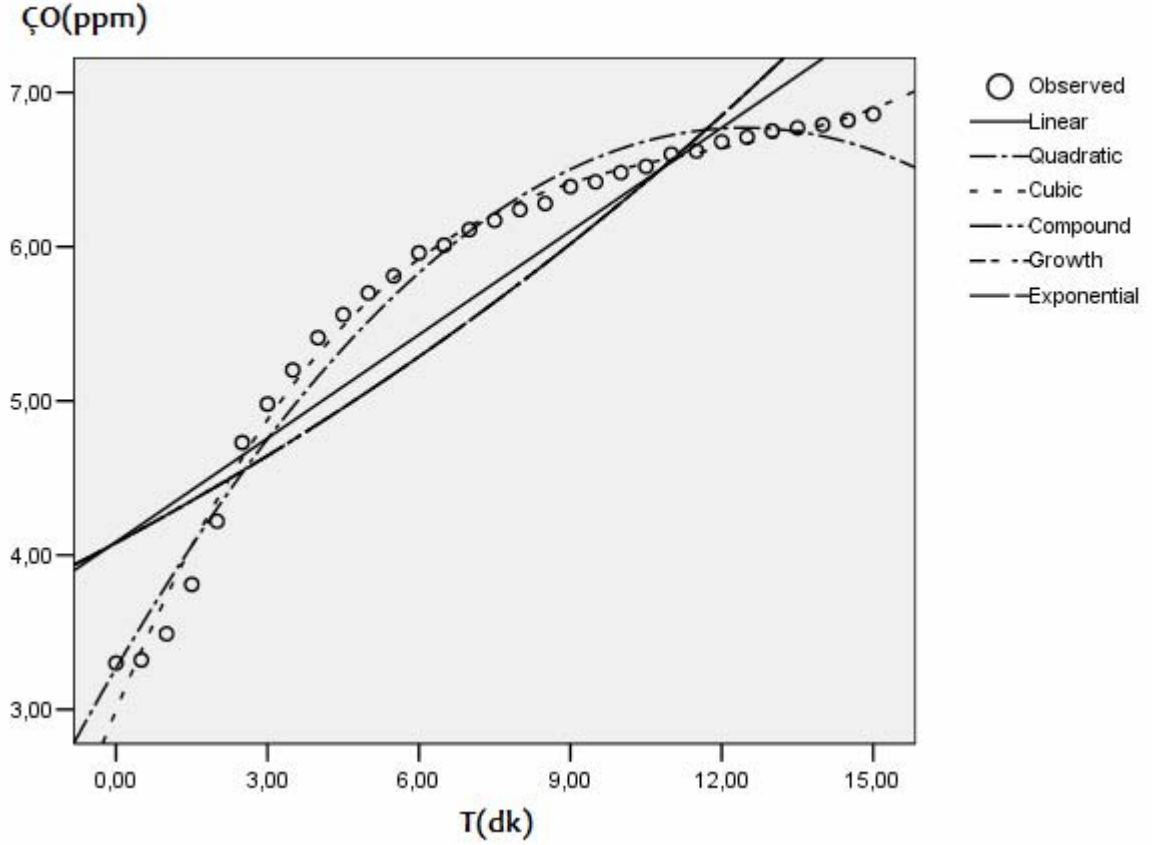
$Fr_1=3.92$ ve $Q_{jet}=50.9 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ -Kapak Arkası Ölçümleri



Model Summary and Parameter Estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,824	135,516	1	29	,000	3,791	,246		
Logarithmic(a)	.	.	.	.	.	.	.
Inverse(b)	.	.	.	.	.	.	.
Quadratic	,973	496,693	2	28	,000	2,844	,638	-,026	
Cubic	,992	1135,599	3	27	,000	2,475	,959	-,081	,002
Compound	,735	80,543	1	29	,000	3,754	1,051		
Power(a)	.	.	.	.	.	.	.
S(b)	.	.	.	.	.	.	.
Growth	,735	80,543	1	29	,000	1,323	,050		
Exponential	,735	80,543	1	29	,000	3,754	,050		

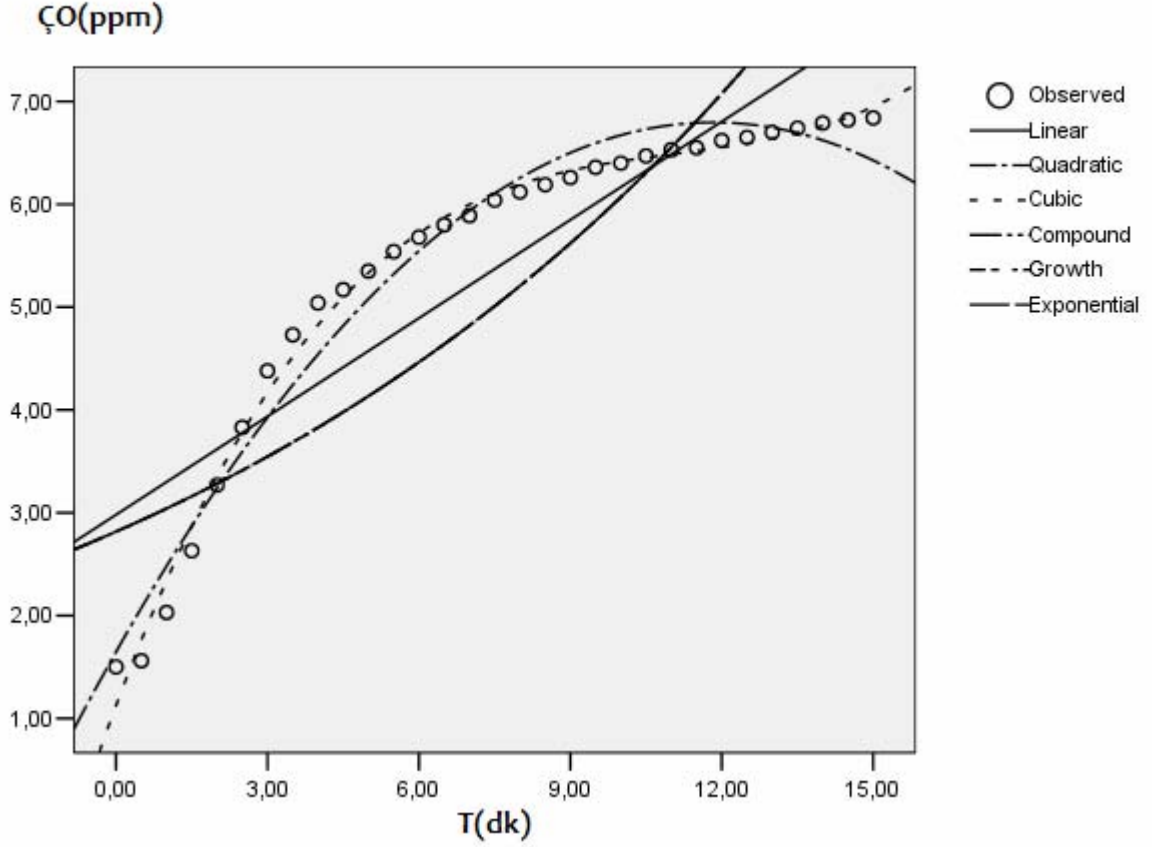
$Fr_1=3.92$ ve $Q_{jet}=50.9.10^{-5}$ m³/s -Hidrolik Sıçrama Sonrası Ölçümleri



Model Summary and Parameter Estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,842	154,105	1	29	,000	4,086	,224		
Logarithmic(a)	.	.	.	.	.	.	.
Inverse(b)	.	.	.	.	.	.	.
Quadratic	,979	638,192	2	28	,000	3,267	,563	-,023	
Cubic	,992	1060,390	3	27	,000	2,996	,800	-,063	,002
Compound	,775	99,854	1	29	,000	4,080	1,044		
Power(a)	.	.	.	.	.	.	.
S(b)	.	.	.	.	.	.	.
Growth	,775	99,854	1	29	,000	1,406	,043		
Exponential	,775	99,854	1	29	,000	4,080	,043		

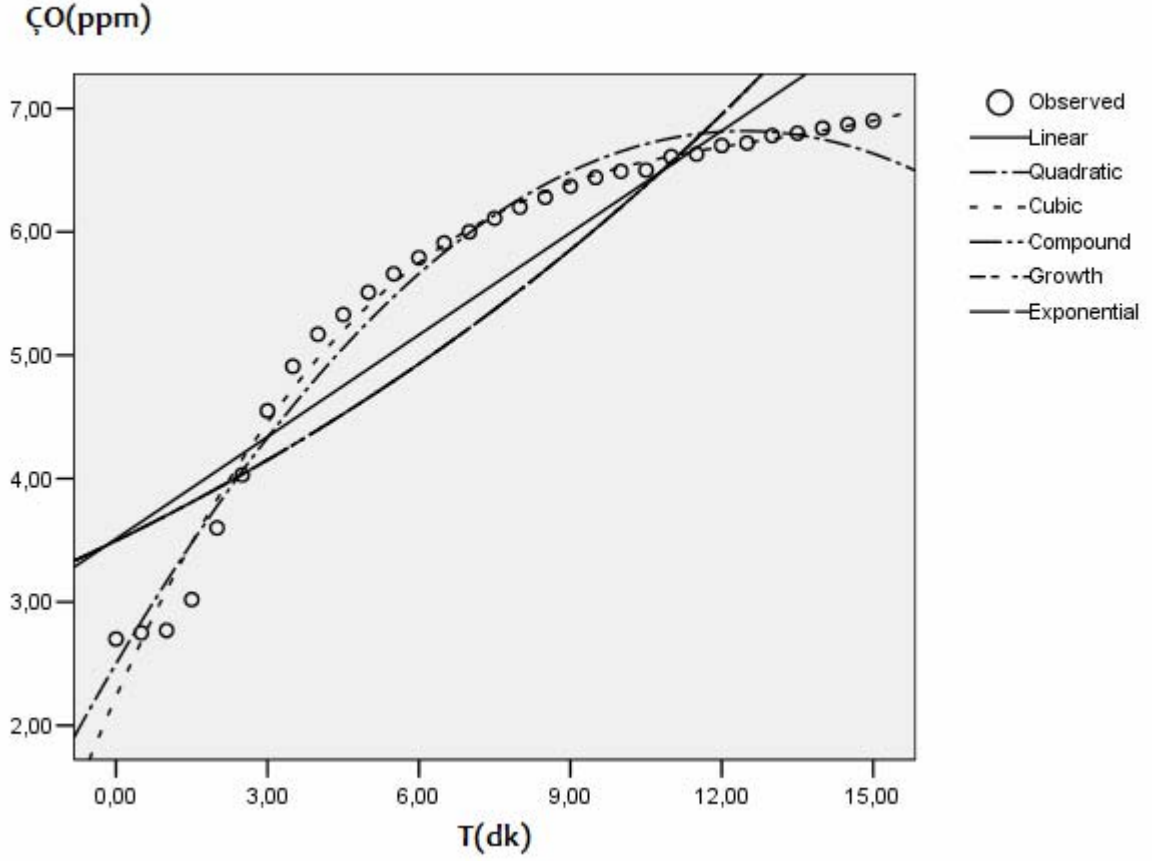
$Fr_1=3.92$ ve $Q_{jet}=95.9.10^{-5}$ m³/s -Kapak Arkası Ölçümleri



Model Summary and Parameter Estimates

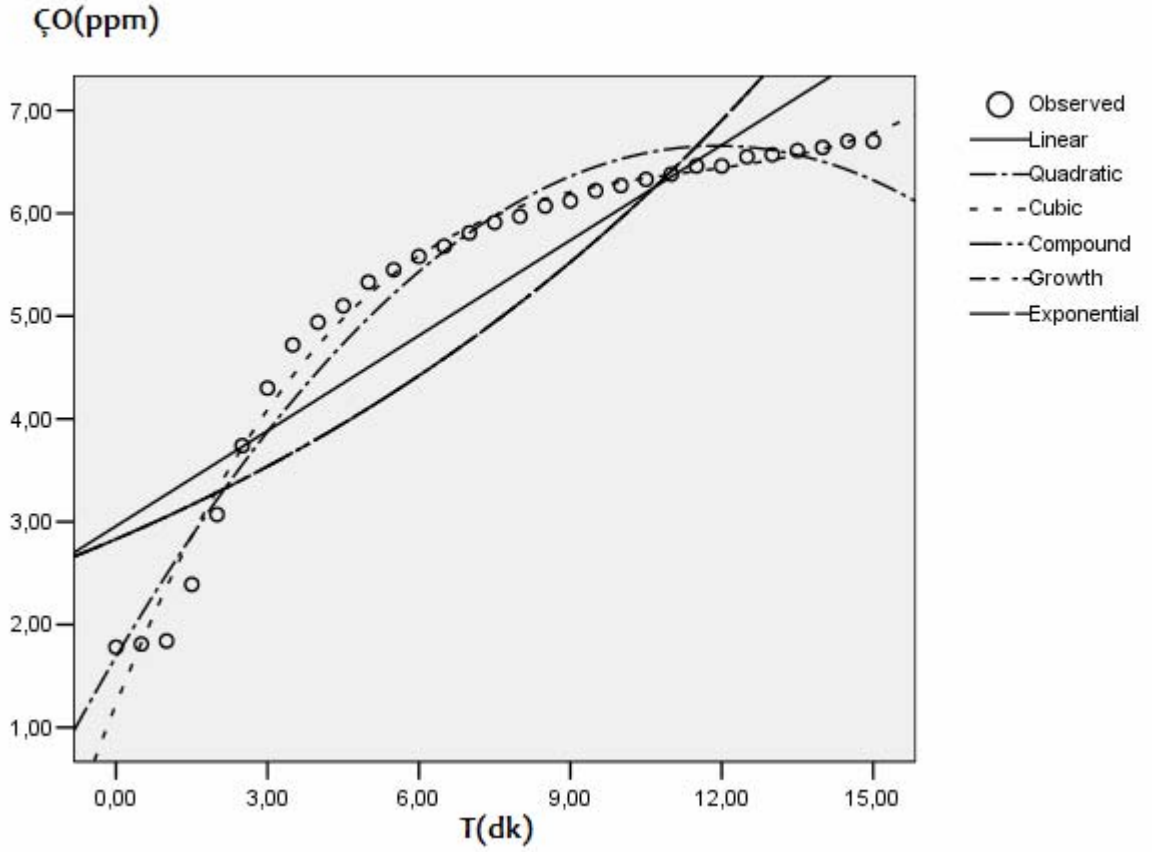
Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,800	116,243	1	29	,000	2,981	,319		
Logarithmic(a)	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Inverse(b)	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Quadratic	,970	458,859	2	28	,000	1,647	,870	-,037	
Cubic	,993	1268,271	3	27	,000	1,126	1,325	-,114	,003
Compound	,663	57,110	1	29	,000	2,817	1,080		
Power(a)	.	.	.	.	.	.	.	.	.
S(b)	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Growth	,663	57,110	1	29	,000	1,036	,077		
Exponential	,663	57,110	1	29	,000	2,817	,077		

$Fr_1=3.92$ ve $Q_{jet}=95.9.10^{-5}$ m³/s -Hidrolik Sıçrama Sonrası Ölçümleri



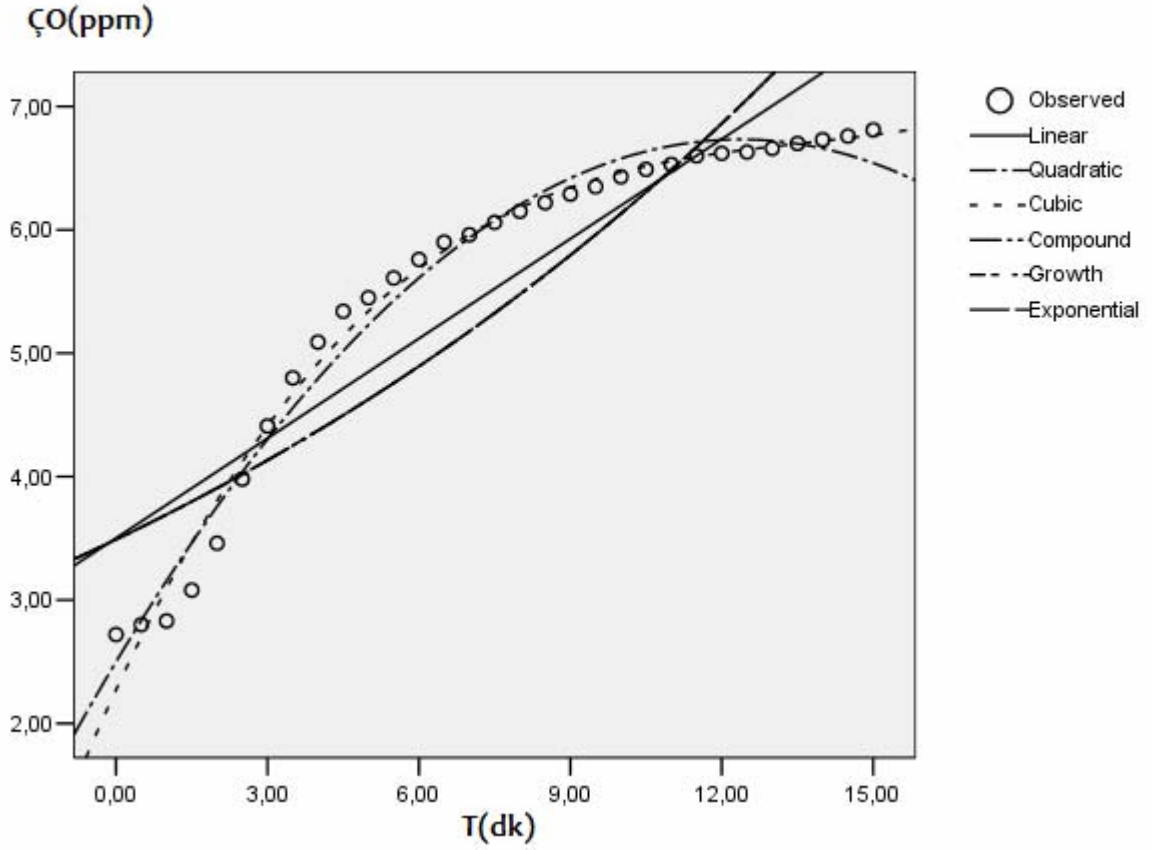
Model Summary and Parameter Estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,841	153,458	1	29	,000	3,512	,276		
Logarithmic(a)	.	.	.	.	.	.	.
Inverse(b)	.	.	.	.	.	.	.
Quadratic	,979	638,500	2	28	,000	2,500	,694	-,028	
Cubic	,987	674,623	3	27	,000	2,234	,927	-,067	,002
Compound	,760	92,055	1	29	,000	3,496	1,059		
Power(a)	.	.	.	.	.	.	.
S(b)	.	.	.	.	.	.	.
Growth	,760	92,055	1	29	,000	1,252	,057		
Exponential	,760	92,055	1	29	,000	3,496	,057		

$Fr_1=3.92$ ve $Q_{jet}=120.1 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ -Kapak Arkası Ölçümleri

Model Summary and Parameter Estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,841	153,458	1	29	,000	3,512	,276		
Logarithmic(a)	.	.	.	.	.	.	.
Inverse(b)	.	.	.	.	.	.	.
Quadratic	,979	638,500	2	28	,000	2,500	,694	-,028	
Cubic	,987	674,623	3	27	,000	2,234	,927	-,067	,002
Compound	,760	92,055	1	29	,000	3,496	1,059		
Power(a)	.	.	.	.	.	.	.
S(b)	.	.	.	.	.	.	.
Growth	,760	92,055	1	29	,000	1,252	,057		
Exponential	,760	92,055	1	29	,000	3,496	,057		

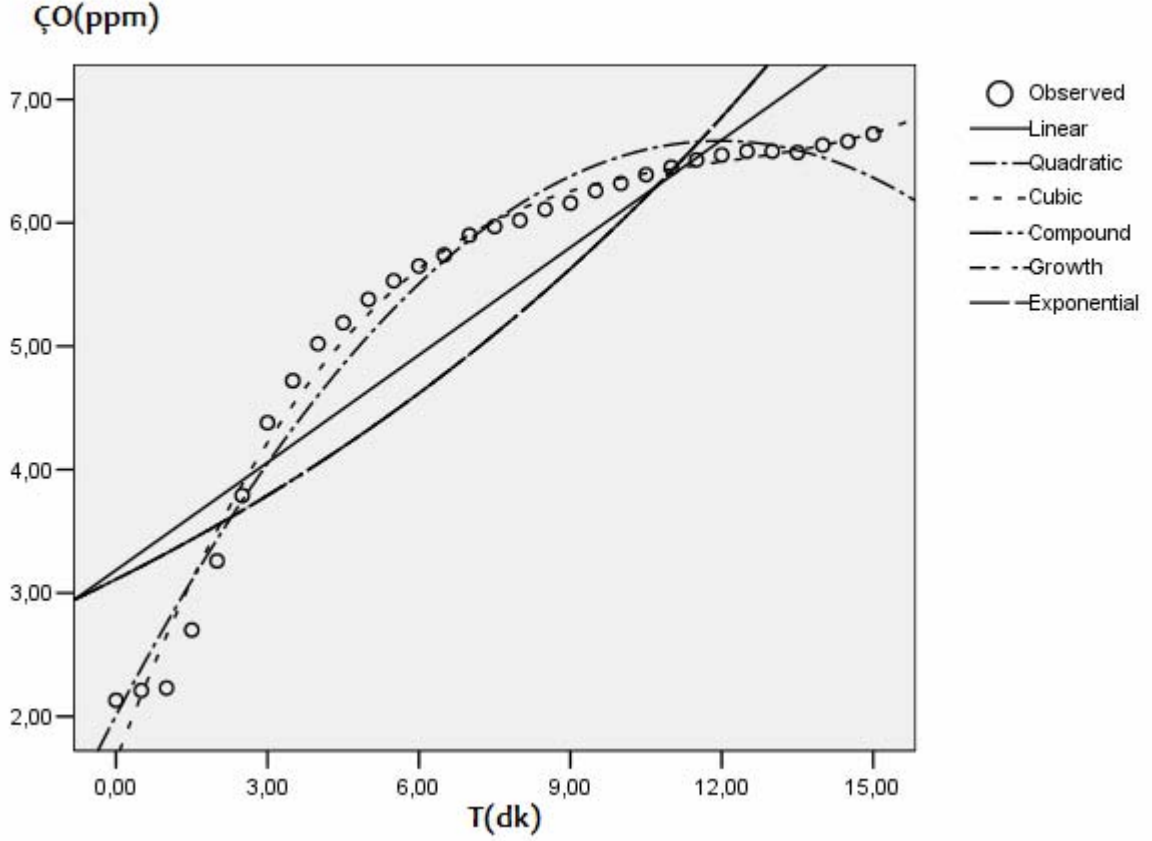
$Fr_1=3.92$ ve $Q_{jet}=120.1 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ -Hidrolik Sıçrama Sonrası



Model Summary and Parameter Estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,840	151,772	1	29	,000	3,502	,270		
Logarithmic(a)	.	.	.	.	.	.	.
Inverse(b)	.	.	.	.	.	.	.
Quadratic	,981	711,971	2	28	,000	2,499	,685	-,028	
Cubic	,987	684,442	3	27	,000	2,271	,883	-,061	,001
Compound	,766	94,785	1	29	,000	3,491	1,058		
Power(a)	.	.	.	.	.	.	.
S(b)	.	.	.	.	.	.	.
Growth	,766	94,785	1	29	,000	1,250	,056		
Exponential	,766	94,785	1	29	,000	3,491	,056		

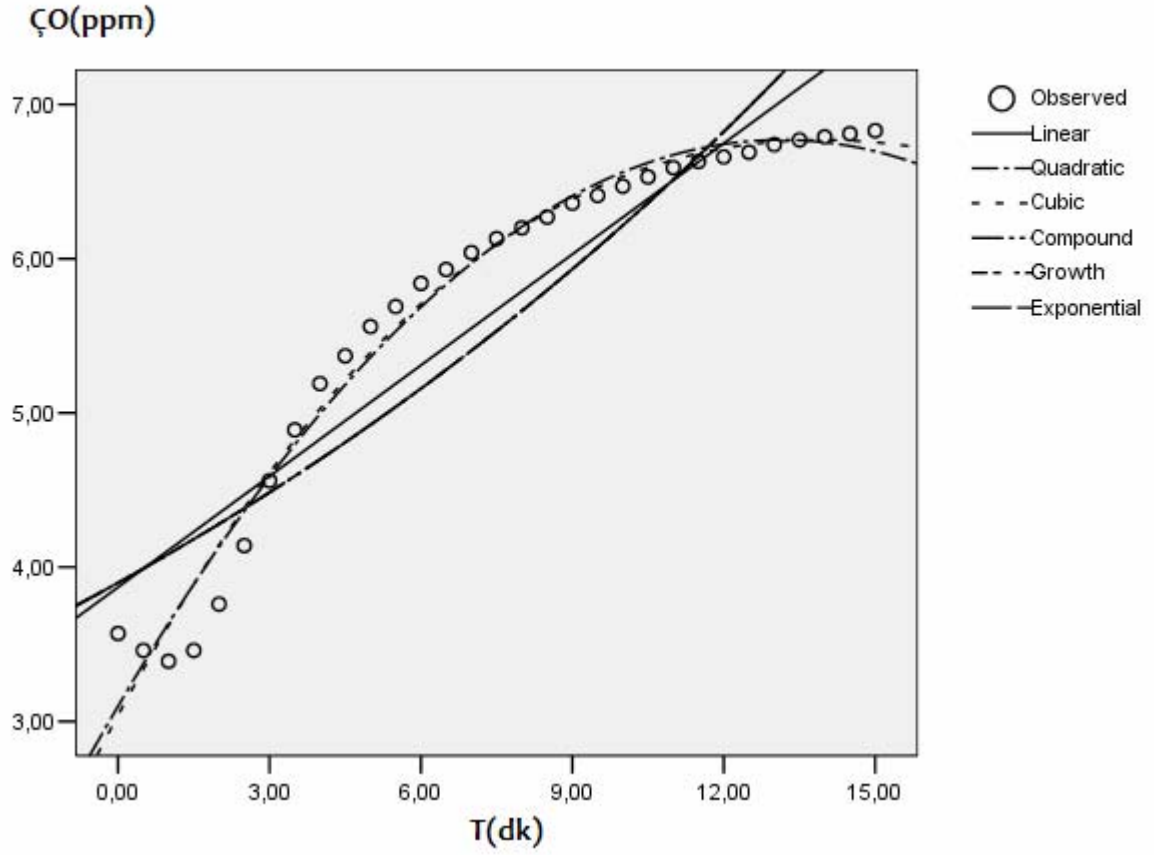
$Fr_1=3.92$ ve $Q_{jet}=196.1.10^{-5}$ m³/s -Kapak Arkası Öçümleri



Model Summary and Parameter Estimates

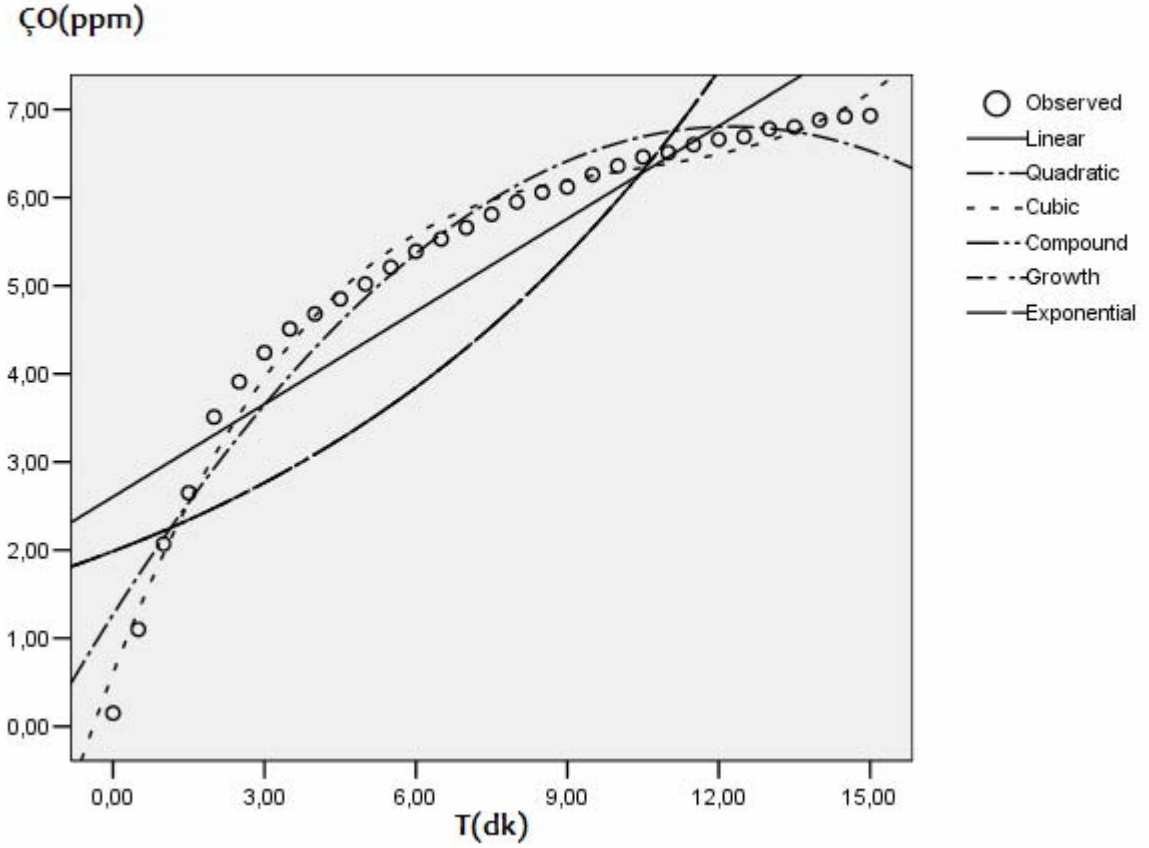
Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,812	124,932	1	29	,000	3,186	,291		
Logarithmic(a)	.	.	.	.	.	.	.
Inverse(b)	.	.	.	.	.	.	.
Quadratic	,974	515,241	2	28	,000	2,008	,778	-,032	
Cubic	,987	677,247	3	27	,000	1,645	1,095	-,086	,002
Compound	,713	72,072	1	29	,000	3,111	1,068		
Power(a)	.	.	.	.	.	.	.
S(b)	.	.	.	.	.	.	.
Growth	,713	72,072	1	29	,000	1,135	,066		
Exponential	,713	72,072	1	29	,000	3,111	,066		

$Fr_1=3.92$ ve $Q_{jet}=196.1.10^{-5}$ m³/s -Hidrolik Sıçrama Sonrası Ölçümler



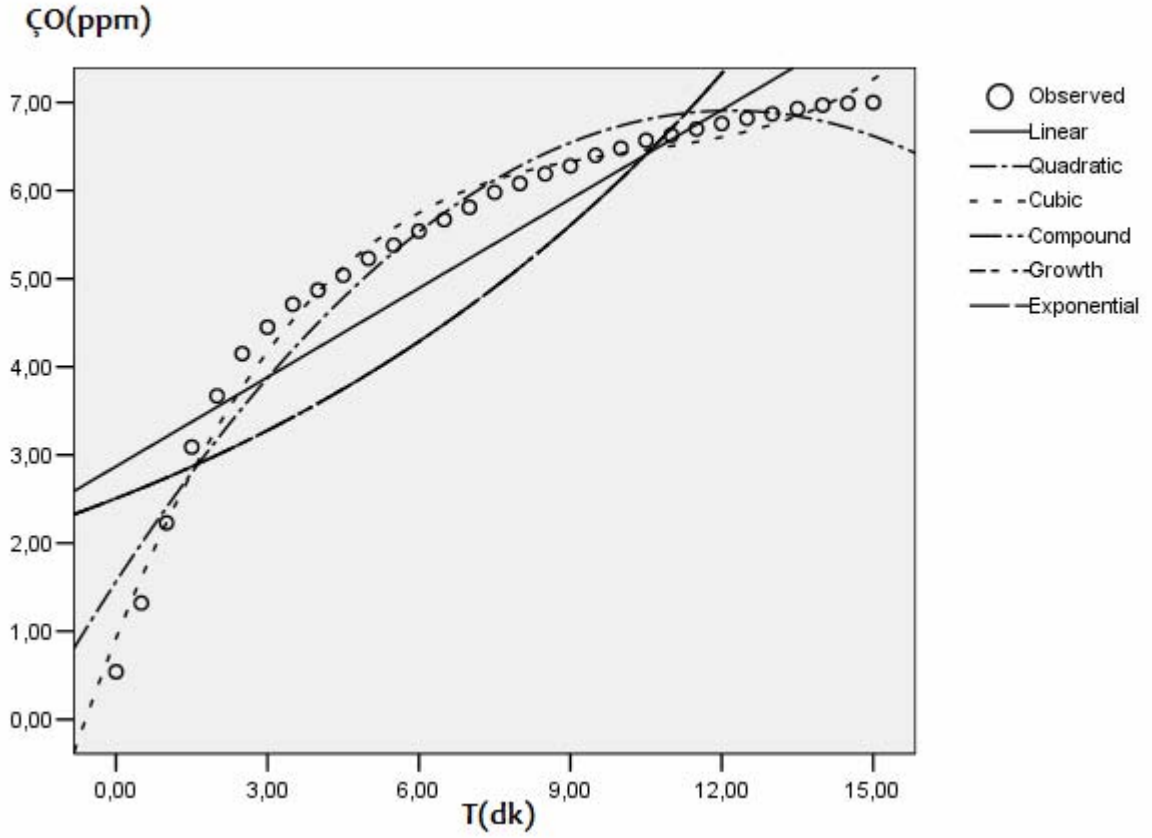
Model Summary and Parameter Estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,868	191,374	1	29	,000	3,870	,240		
Logarithmic(a)	.	.	.	.	.	.	.
Inverse(b)	.	.	.	.	.	.	.
Quadratic	,977	604,959	2	28	,000	3,099	,559	-,021	
Cubic	,978	398,594	3	27	,000	3,040	,610	-,030	,000
Compound	,815	127,747	1	29	,000	3,899	1,048		
Power(a)	.	.	.	.	.	.	.
S(b)	.	.	.	.	.	.	.
Growth	,815	127,747	1	29	,000	1,361	,047		
Exponential	,815	127,747	1	29	,000	3,899	,047		

Fr₁=4.24- Kapak Arkası Ölçümleri

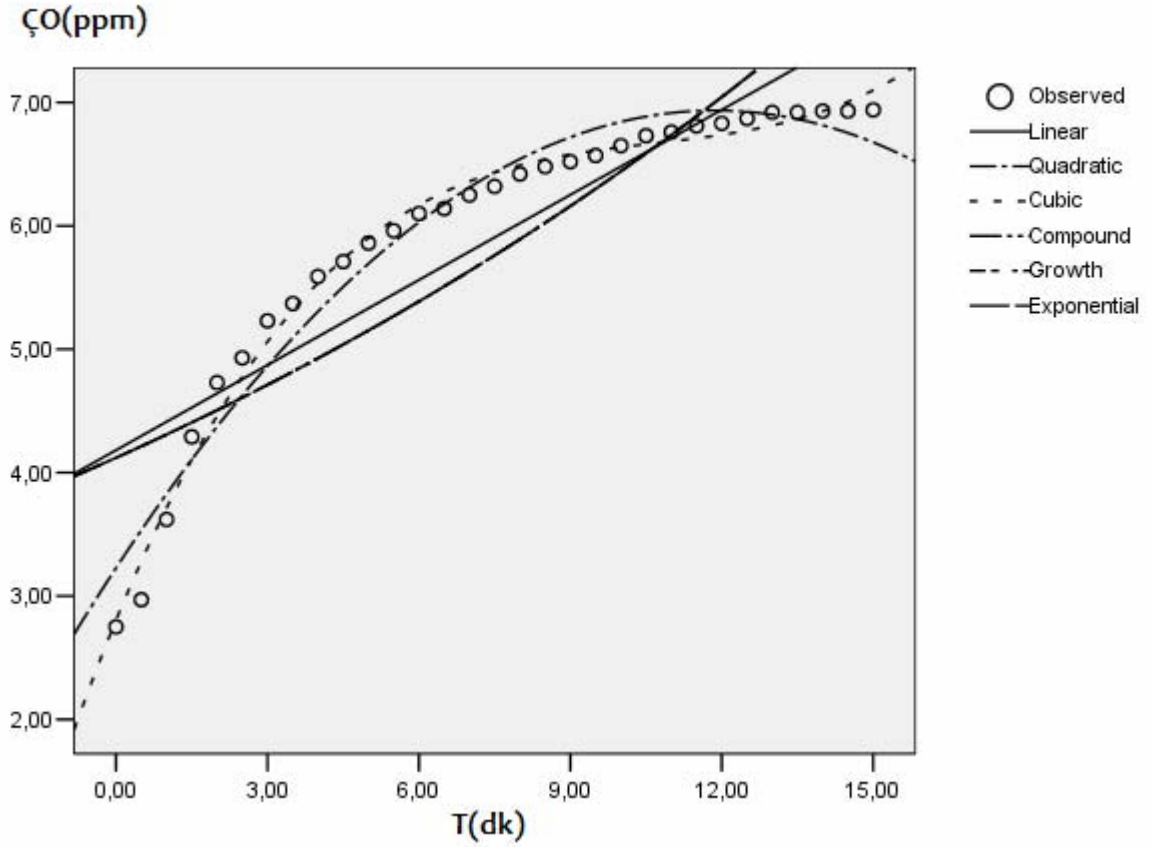
Model Summary and Parameter Estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,813	126,127	1	29	,000	2,605	,351		
Logarithmic(a)	.	.	.	.	.	.	.
Inverse(b)	.	.	.	.	.	.	.
Quadratic	,957	309,117	2	28	,000	1,268	,904	-,037	
Cubic	,987	707,590	3	27	,000	,603	1,484	-,135	,004
Compound	,445	23,285	1	29	,000	1,988	1,116		
Power(a)	.	.	.	.	.	.	.
S(b)	.	.	.	.	.	.	.
Growth	,445	23,285	1	29	,000	,687	,110		
Exponential	,445	23,285	1	29	,000	1,988	,110		

Fr₁=4.24-Hidrolik Sıçrama Sonrası Ölçümler

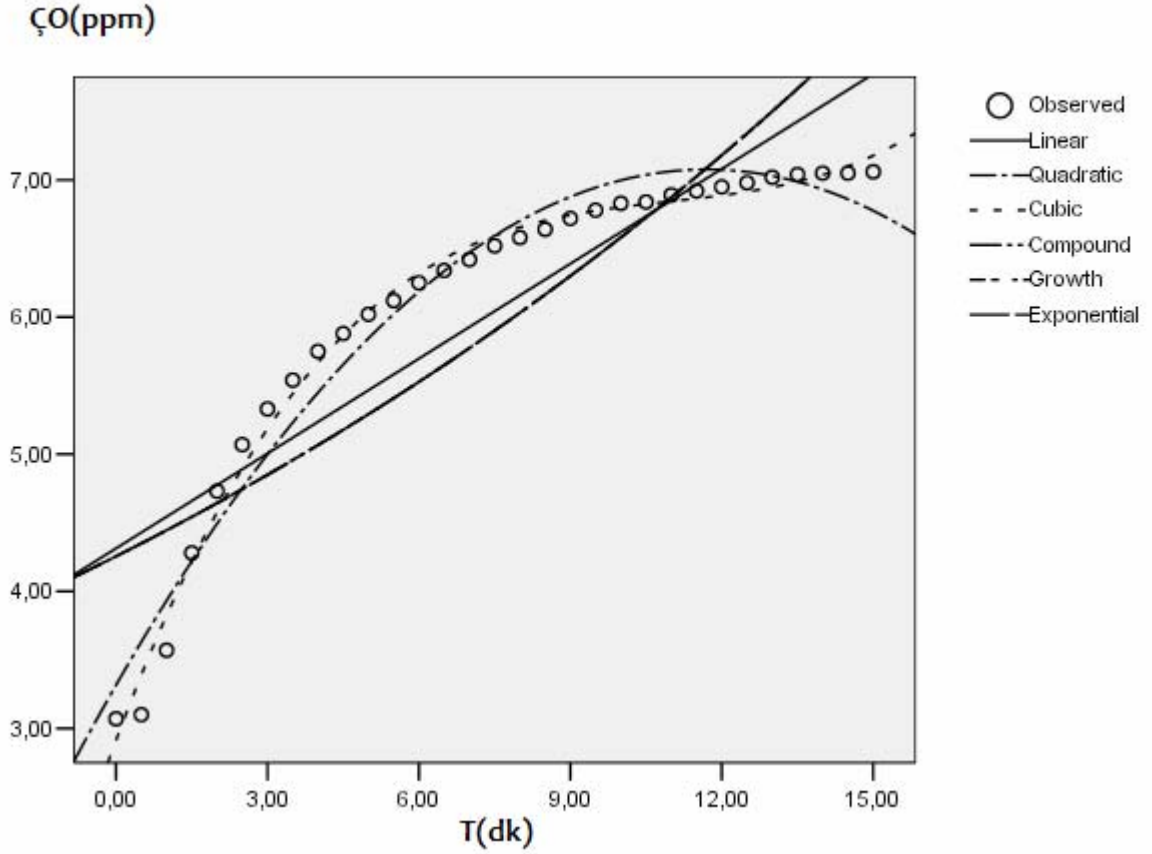
Model Summary and Parameter Estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,808	122,276	1	29	,000	2,870	,337		
Logarithmic(a)	.	.	.	.	.	.	.
Inverse(b)	.	.	.	.	.	.	.
Quadratic	,956	302,705	2	28	,000	1,564	,878	-,036	
Cubic	,987	676,783	3	27	,000	,919	1,440	-,131	,004
Compound	,546	34,897	1	29	,000	2,508	1,093		
Power(a)	.	.	.	.	.	.	.
S(b)	.	.	.	.	.	.	.
Growth	,546	34,897	1	29	,000	,919	,089		
Exponential	,546	34,897	1	29	,000	2,508	,089		

Fr₁=4.67- Kapak Arkası Ölçümleri

Model Summary and Parameter Estimates

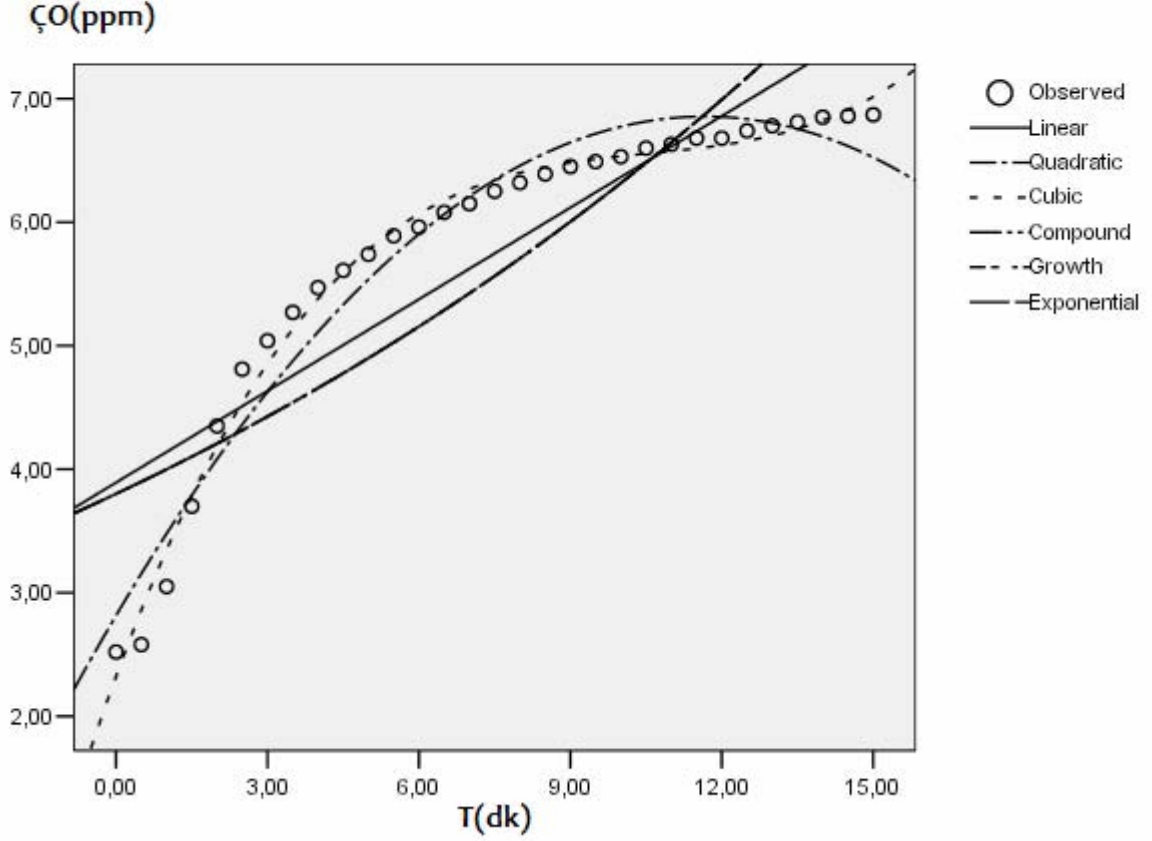
Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,795	112,558	1	29	,000	4,182	,230		
Logarithmic(a)	.	.	.	.	.	.	.
Inverse(b)	.	.	.	.	.	.	.
Quadratic	,961	348,275	2	28	,000	3,228	,625	-,026	
Cubic	,990	858,389	3	27	,000	2,805	,993	-,089	,003
Compound	,696	66,506	1	29	,000	4,121	1,046		
Power(a)	.	.	.	.	.	.	.
S(b)	.	.	.	.	.	.	.
Growth	,696	66,506	1	29	,000	1,416	,045		
Exponential	,696	66,506	1	29	,000	4,121	,045		

Fr₁=4.67- Hidrolik Sıçrama Sonrası Ölçümleri

Model Summary and Parameter Estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,788	107,635	1	29	,000	4,313	,231		
Logarithmic(a)	.	.	.	.	.	.	.
Inverse(b)	.	.	.	.	.	.	.
Quadratic	,966	403,891	2	28	,000	3,316	,643	-,028	
Cubic	,992	1067,518	3	27	,000	2,914	,994	-,087	,003
Compound	,703	68,547	1	29	,000	4,255	1,045		
Power(a)	.	.	.	.	.	.	.
S(b)	.	.	.	.	.	.	.
Growth	,703	68,547	1	29	,000	1,448	,044		
Exponential	,703	68,547	1	29	,000	4,255	,044		

$Fr_1=4.67$ ve $Q_{jet}=26.7 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ - Kapak Arkası Ölçümleri

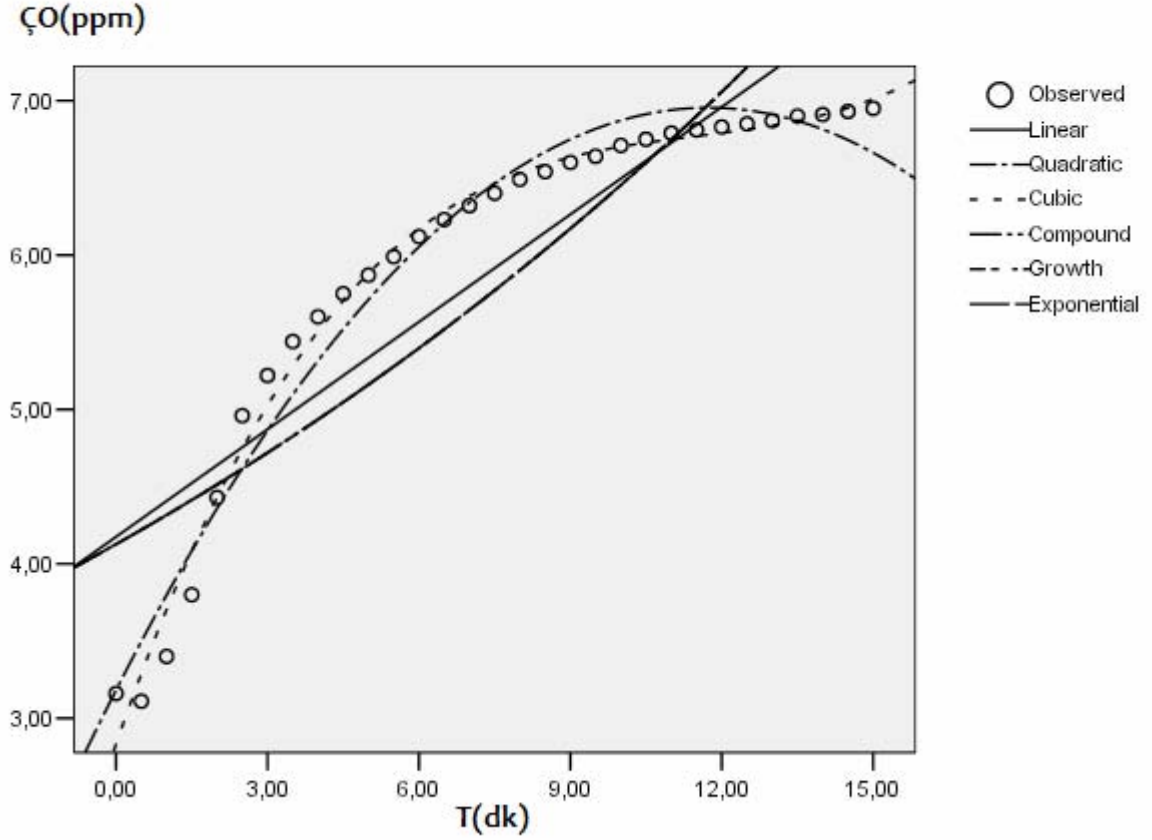


Model Summary and Parameter Estimates

Dependent Variable: hss

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,788	107,635	1	29	,000	4,313	,231		
Logarithmic(a)	.	.	.	.	.	.	.
Inverse(b)	.	.	.	.	.	.	.
Quadratic	,966	403,891	2	28	,000	3,316	,643	-,028	
Cubic	,992	1067,518	3	27	,000	2,657	,994	-,087	,003
Compound	,703	68,547	1	29	,000	4,255	1,045		
Power(a)	.	.	.	.	.	.	.
S(b)	.	.	.	.	.	.	.
Growth	,703	68,547	1	29	,000	1,448	,044		
Exponential	,703	68,547	1	29	,000	4,255	,044		

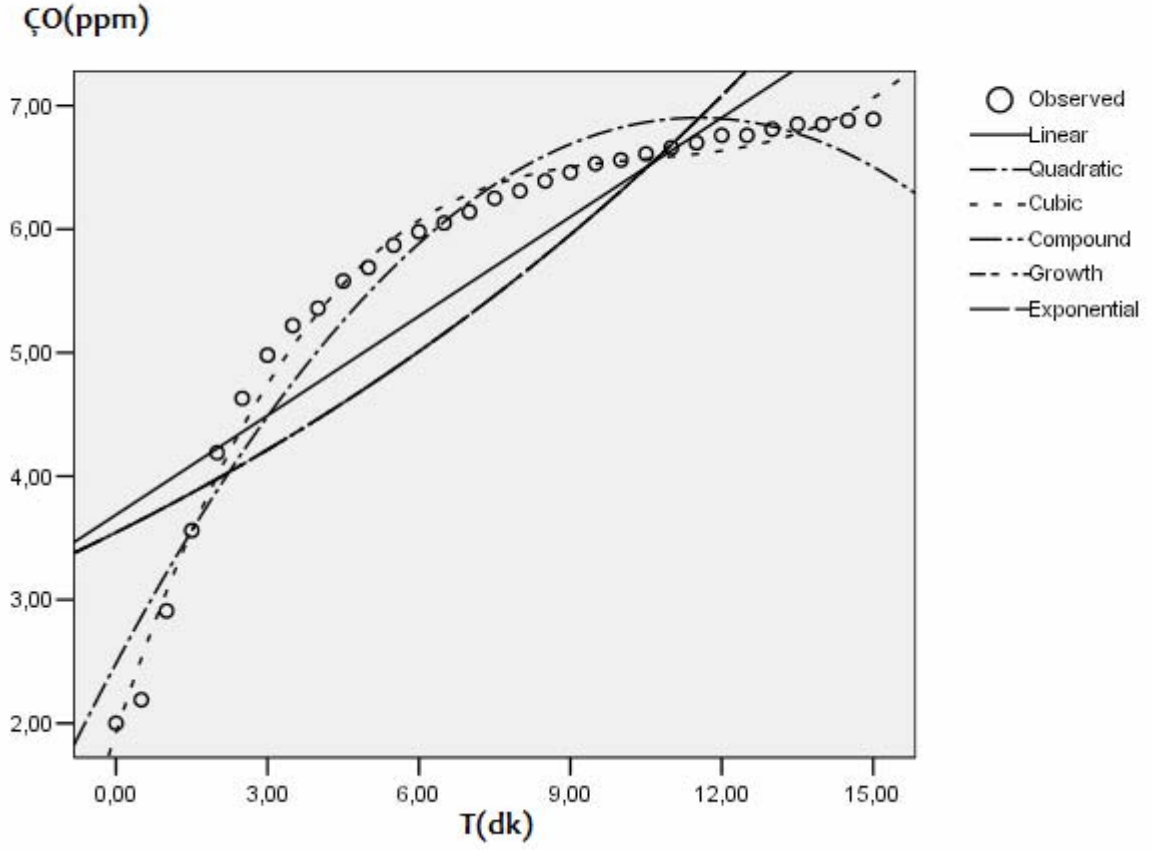
$Fr_1=4.67$ ve $Q_{jet}=26.7 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ -Hidrolik Sıçrama Sonrası Ölçümler



Model Summary and Parameter Estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,794	111,563	1	29	,000	4,175	,232		
Logarithmic(a)	.	.	.	.	.	.	.
Inverse(b)	.	.	.	.	.	.	.
Quadratic	,970	454,056	2	28	,000	3,182	,643	-,027	
Cubic	,989	802,141	3	27	,000	2,834	,947	-,079	,002
Compound	,718	73,835	1	29	,000	4,127	1,046		
Power(a)	.	.	.	.	.	.	.
S(b)	.	.	.	.	.	.	.
Growth	,718	73,835	1	29	,000	1,418	,045		
Exponential	,718	73,835	1	29	,000	4,127	,045		

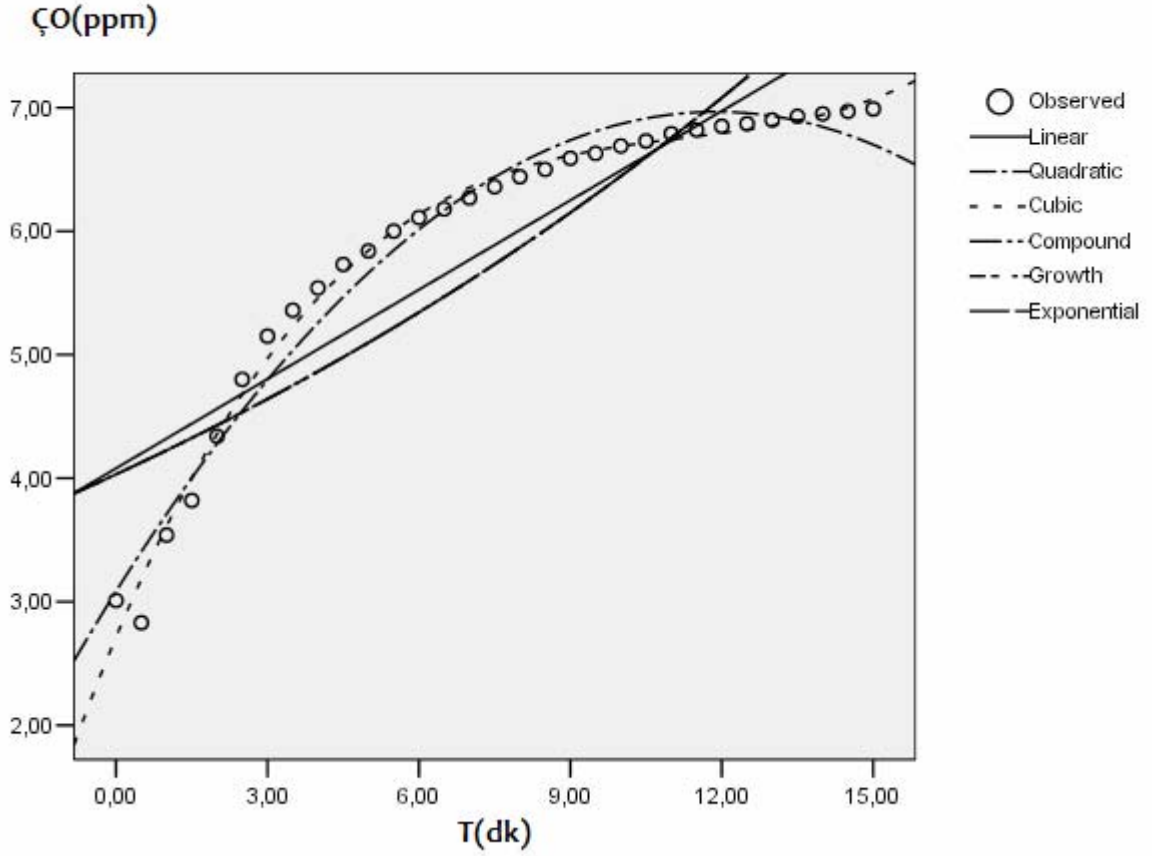
$Fr_1=4.67$ ve $Q_{jet}=50.9 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ -Kapak Arkası Ölçümleri



Model Summary and Parameter Estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,768	96,131	1	29	,000	3,688	,268		
Logarithmic(a)	.	.	.	.	.	.	.
Inverse(b)	.	.	.	.	.	.	.
Quadratic	,956	305,674	2	28	,000	2,485	,766	-,033	
Cubic	,991	1039,502	3	27	,000	1,926	1,253	-,116	,004
Compound	,645	52,581	1	29	,000	3,545	1,059		
Power(a)	.	.	.	.	.	.	.
S(b)	.	.	.	.	.	.	.
Growth	,645	52,581	1	29	,000	1,266	,058		
Exponential	,645	52,581	1	29	,000	3,545	,058		

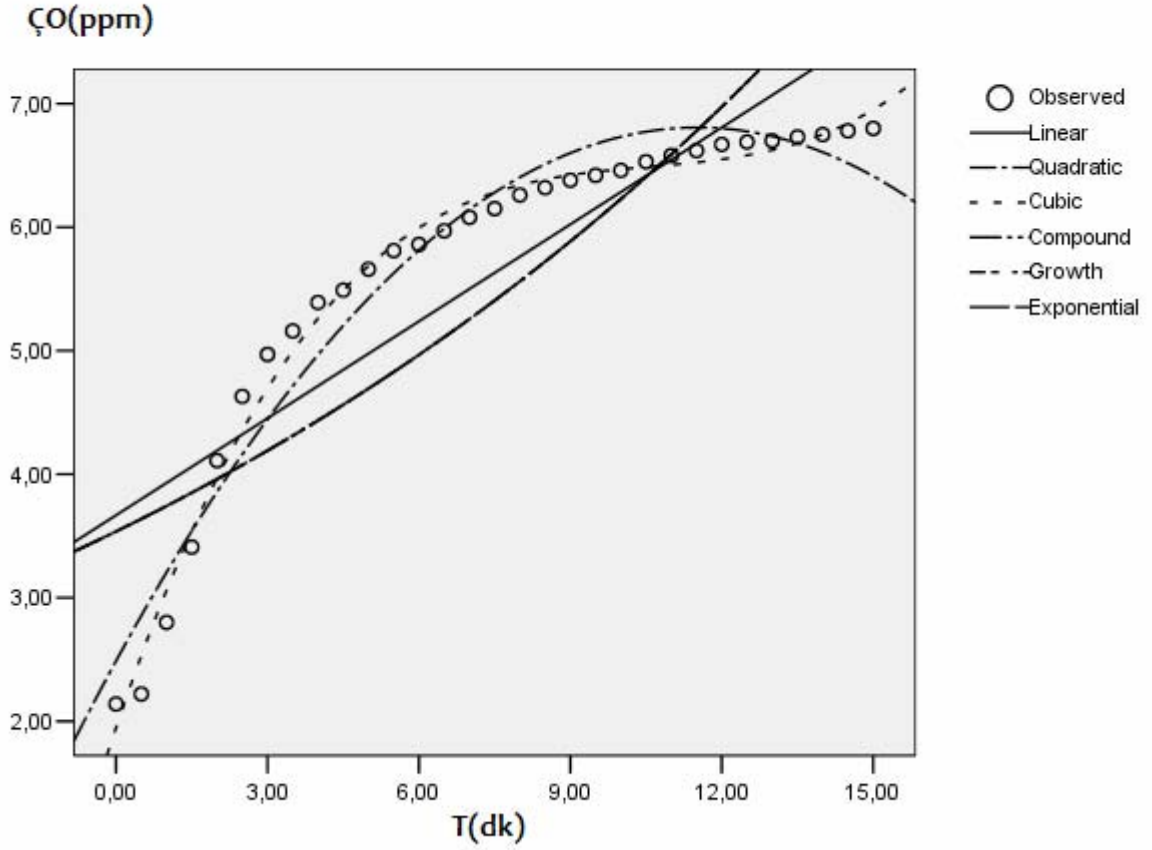
$Fr_1=4.67$ ve $Q_{jet}=50.9.10^{-5}$ m³/s -Hidrolik Sıçrama Sonrası Ölçümleri



Model Summary and Parameter Estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,805	119,661	1	29	,000	4,080	,241		
Logarithmic(a)	.	.	.	.	.	.	.
Inverse(b)	.	.	.	.	.	.	.
Quadratic	,972	478,742	2	28	,000	3,084	,653	-,027	
Cubic	,992	1062,111	3	27	,000	2,714	,976	-,082	,002
Compound	,720	74,599	1	29	,000	4,032	1,048		
Power(a)	.	.	.	.	.	.	.
S(b)	.	.	.	.	.	.	.
Growth	,720	74,599	1	29	,000	1,394	,047		
Exponential	,720	74,599	1	29	,000	4,032	,047		

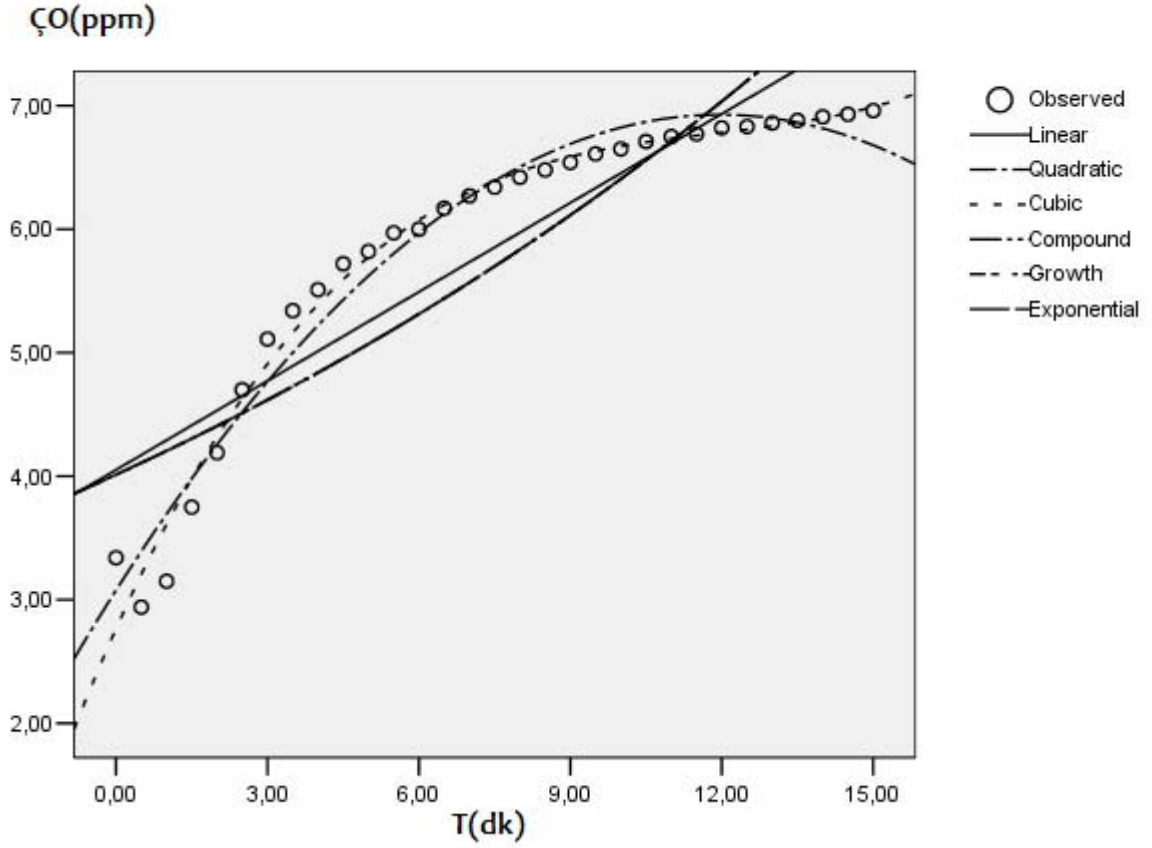
$Fr_1=4.67$ ve $Q_{jet}=95.9 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ -Kapak Arkası Ölçümleri



Model Summary and Parameter Estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,766	94,947	1	29	,000	3,668	,262		
Logarithmic(a)	.	.	.	.	.	.	.
Inverse(b)	.	.	.	.	.	.	.
Quadratic	,955	297,255	2	28	,000	2,488	,750	-,033	
Cubic	,989	824,180	3	27	,000	1,950	1,220	-,112	,004
Compound	,652	54,279	1	29	,000	3,537	1,058		
Power(a)	.	.	.	.	.	.	.
S(b)	.	.	.	.	.	.	.
Growth	,652	54,279	1	29	,000	1,263	,057		
Exponential	,652	54,279	1	29	,000	3,537	,057		

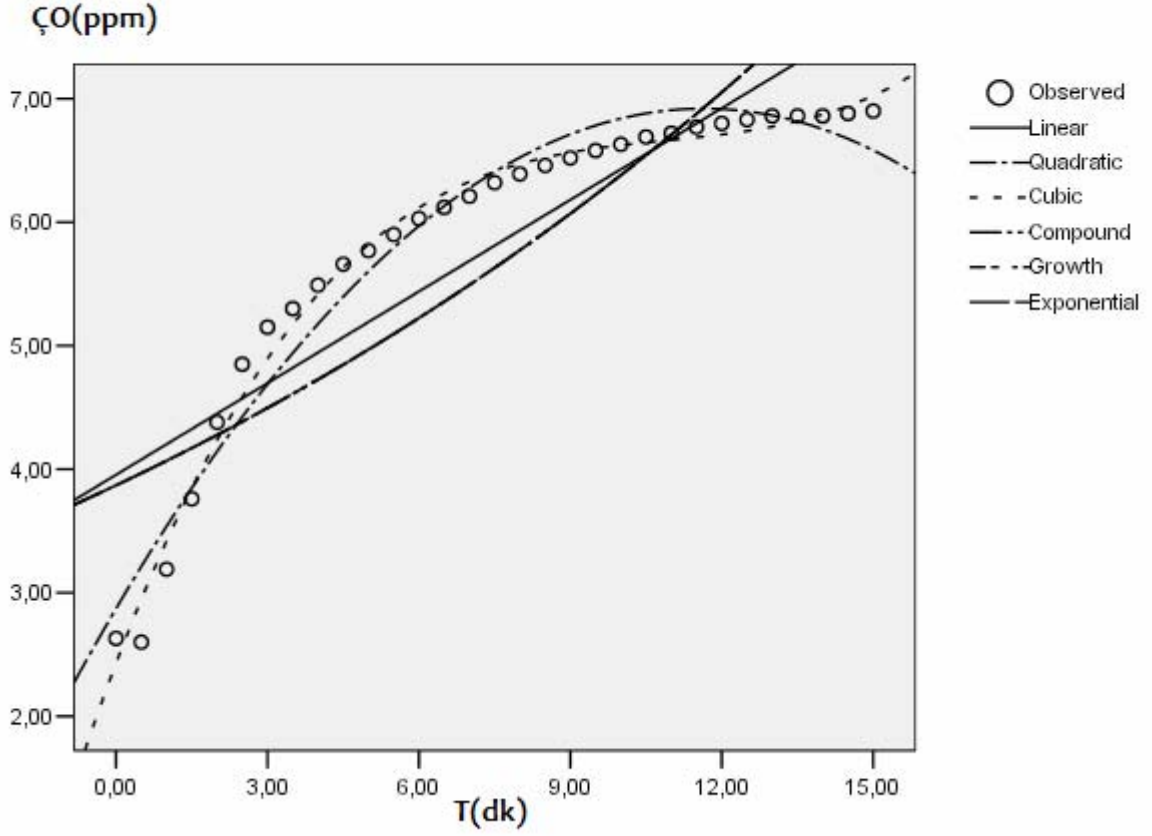
$Fr_1=4.67$ ve $Q_{jet}=95.9 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ -Hidrolik Sıçrama Sonrası Ölçümleri



Model Summary and Parameter Estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,806	120,686	1	29	,000	4,052	,240		
Logarithmic(a)	.	.	.	.	.	.	.
Inverse(b)	.	.	.	.	.	.	.
Quadratic	,967	415,560	2	28	,000	3,077	,643	-,027	
Cubic	,982	481,213	3	27	,000	2,766	,915	-,073	,002
Compound	,729	77,836	1	29	,000	4,013	1,048		
Power(a)	.	.	.	.	.	.	.
S(b)	.	.	.	.	.	.	.
Growth	,729	77,836	1	29	,000	1,390	,047		
Exponential	,729	77,836	1	29	,000	4,013	,047		

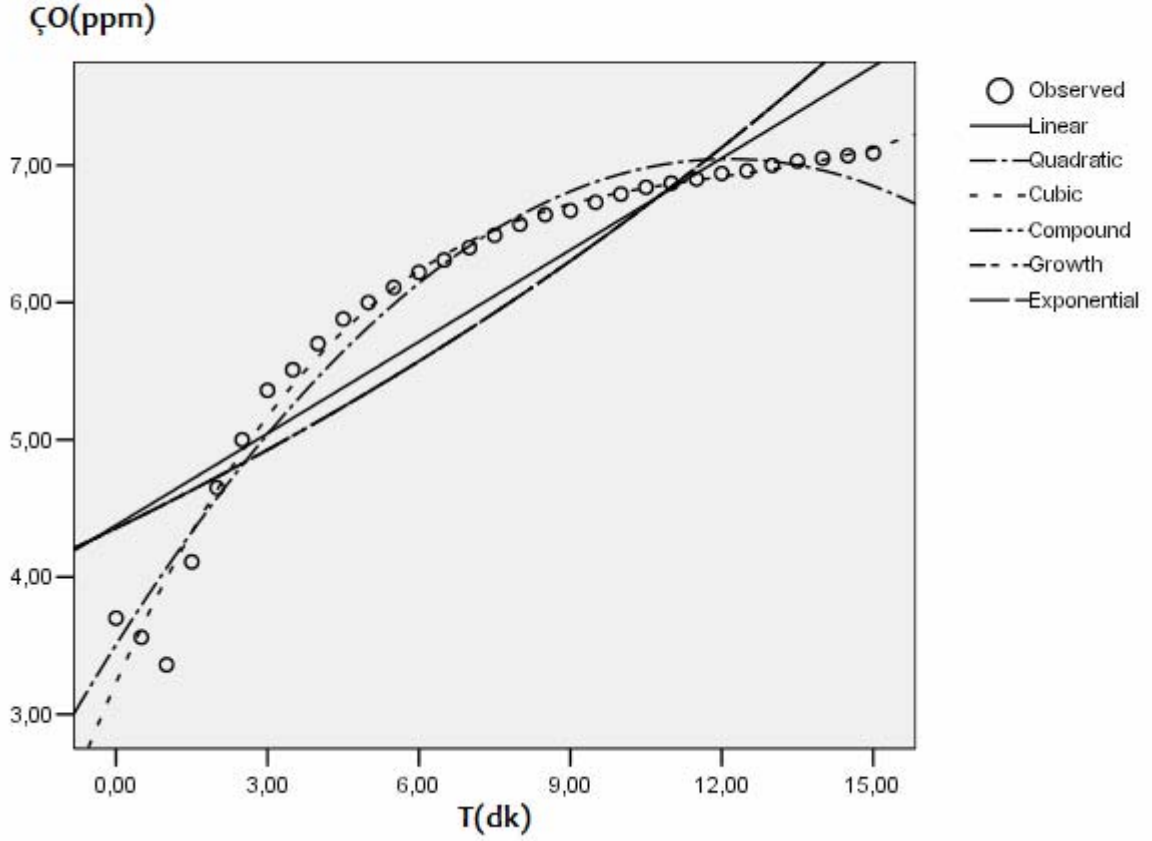
$Fr_1=4.67$ ve $Q_{jet}=120.1.10^{-5}$ m³/s-Kapak Arkası Ölçümleri



Model Summary and Parameter Estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,781	103,519	1	29	,000	3,955	,247		
Logarithmic(a)	.	.	.	.	.	.	.
Inverse(b)	.	.	.	.	.	.	.
Quadratic	,963	363,919	2	28	,000	2,872	,696	-,030	
Cubic	,989	830,668	3	27	,000	2,429	1,082	-,095	,003
Compound	,682	62,325	1	29	,000	3,870	1,051		
Power(a)	.	.	.	.	.	.	.
S(b)	.	.	.	.	.	.	.
Growth	,682	62,325	1	29	,000	1,353	,050		
Exponential	,682	62,325	1	29	,000	3,870	,050		

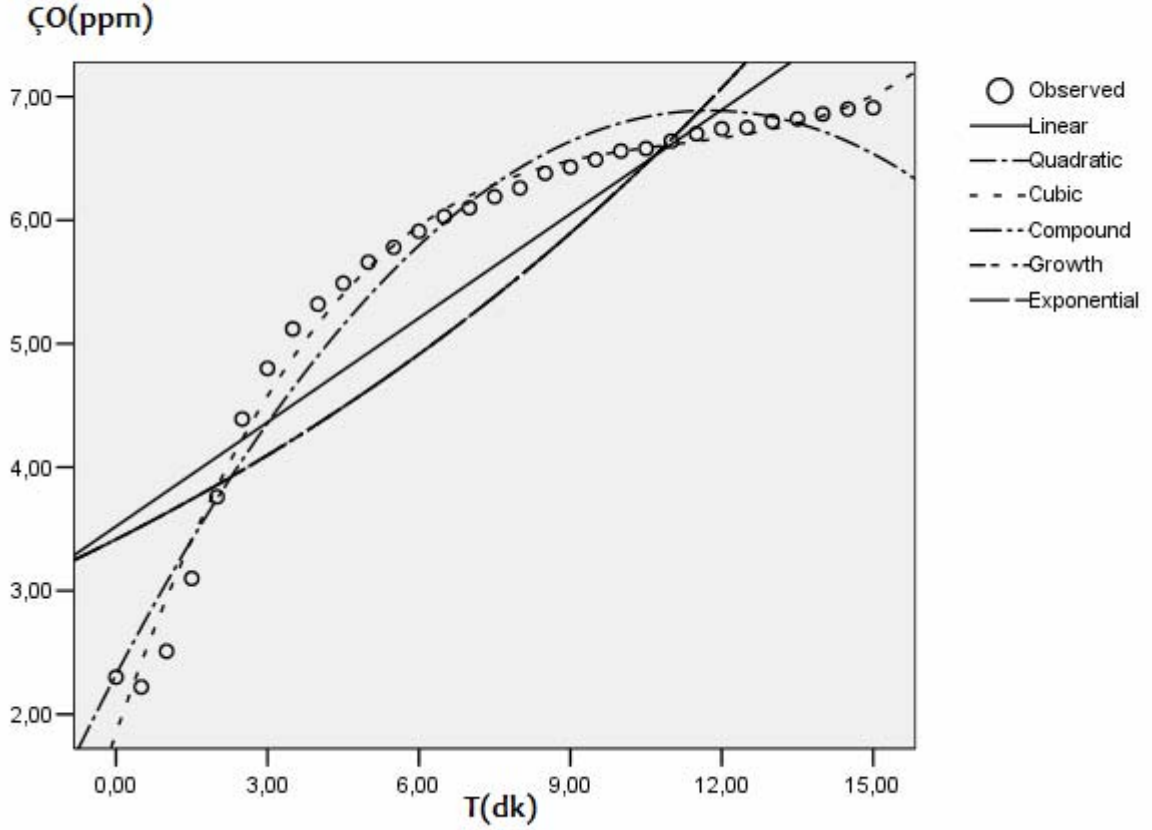
$Fr_1=4.67$ ve $Q_{jet}=120.1.10^{-5}$ m³/s -Hidrolik Sıçrama Sonrası Ölçümleri



Model Summary and Parameter Estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,816	128,208	1	29	,000	4,377	,223		
Logarithmic(a)	.	.	.	.	.	.	.
Inverse(b)	.	.	.	.	.	.	.
Quadratic	,967	405,482	2	28	,000	3,507	,583	-,024	
Cubic	,980	437,840	3	27	,000	3,230	,824	-,065	,002
Compound	,746	84,953	1	29	,000	4,356	1,042		
Power(a)	.	.	.	.	.	.	.
S(b)	.	.	.	.	.	.	.
Growth	,746	84,953	1	29	,000	1,471	,041		
Exponential	,746	84,953	1	29	,000	4,356	,041		

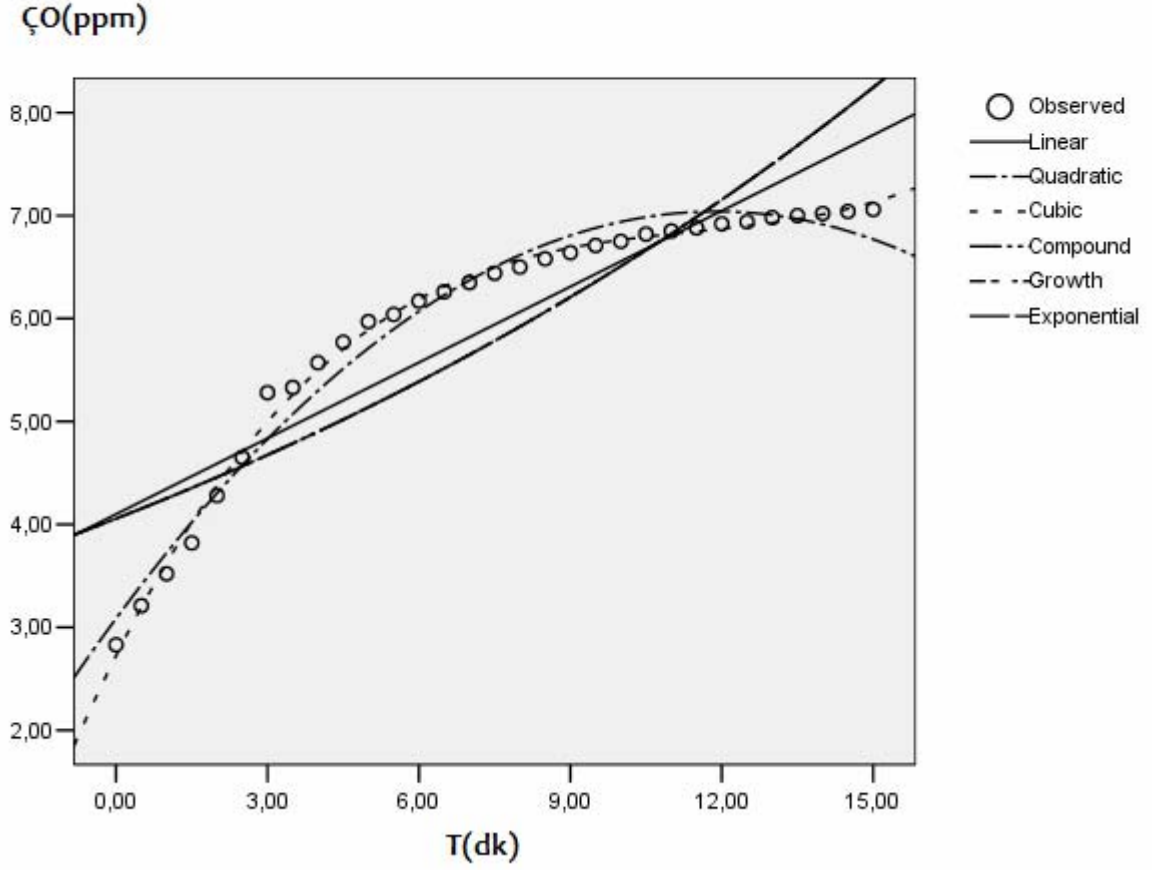
$Fr_1=4.67$ ve $Q_{jet}=196.1.10^{-5}$ m³/s-Kapak Arkası Ölçümleri



Model Summary and Parameter Estimates

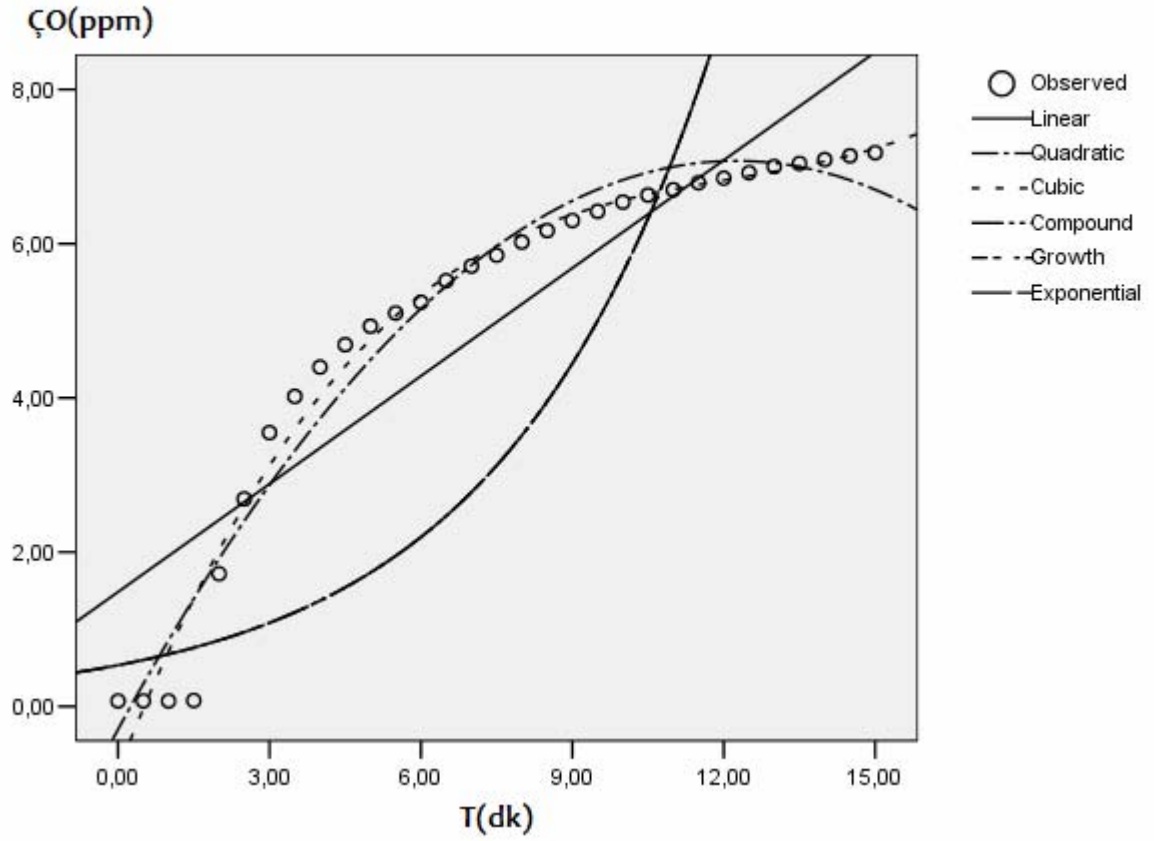
Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,789	108,679	1	29	,000	3,521	,281		
Logarithmic(a)	.	.	.	.	.	.	.
Inverse(b)	.	.	.	.	.	.	.
Quadratic	,964	375,889	2	28	,000	2,321	,778	-,033	
Cubic	,988	716,746	3	27	,000	1,848	1,190	-,103	,003
Compound	,684	62,828	1	29	,000	3,416	1,062		
Power(a)	.	.	.	.	.	.	.
S(b)	.	.	.	.	.	.	.
Growth	,684	62,828	1	29	,000	1,229	,061		
Exponential	,684	62,828	1	29	,000	3,416	,061		

$Fr_1=4.67$ ve $Q_{jet}=196.1.10^{-5}$ m³/s -Hidrolik Sıçrama Sonrası Ölçümleri



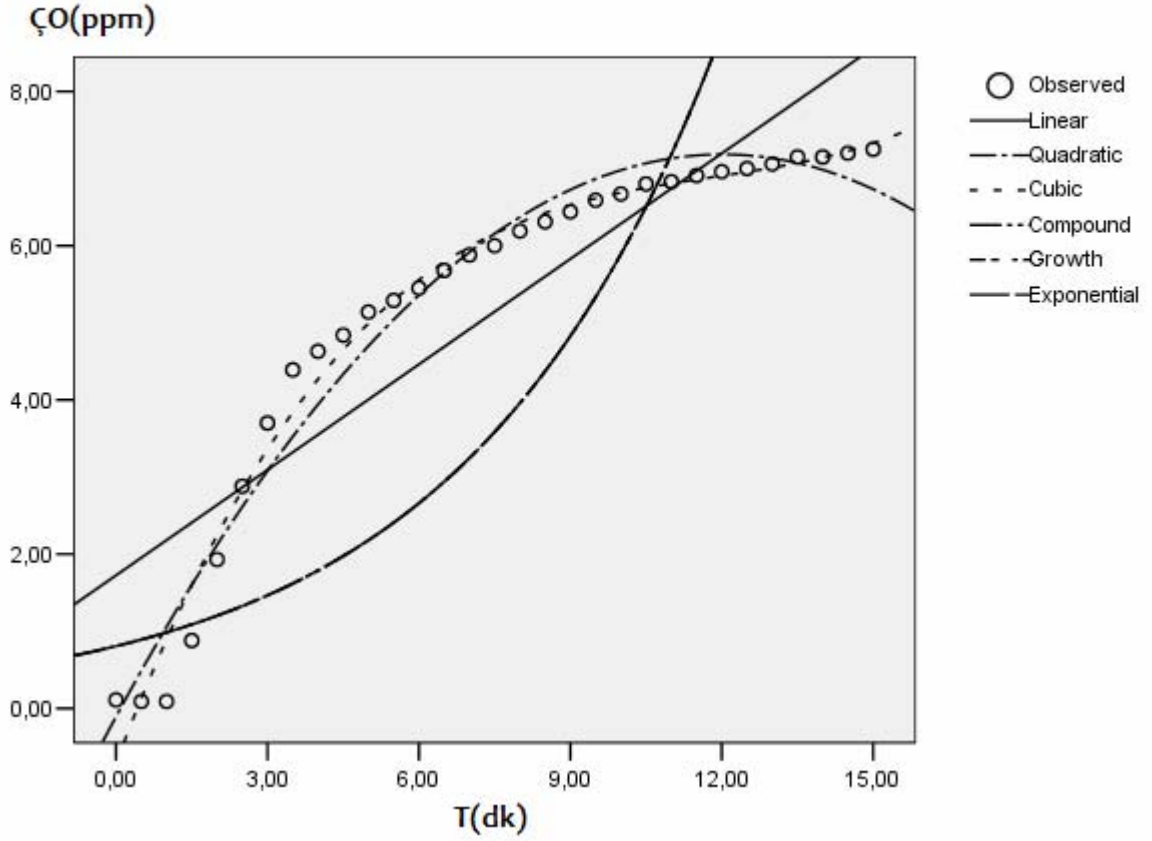
Model Summary and Parameter Estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,809	123,185	1	29	,000	4,099	,246		
Logarithmic(a)	.	.	.	.	.	.	.
Inverse(b)	.	.	.	.	.	.	.
Quadratic	,977	592,221	2	28	,000	3,085	,665	-,028	
Cubic	,995	1931,549	3	27	,000	2,724	,980	-,081	,002
Compound	,730	78,498	1	29	,000	4,056	1,048		
Power(a)	.	.	.	.	.	.	.
S(b)	.	.	.	.	.	.	.
Growth	,730	78,498	1	29	,000	1,400	,047		
Exponential	,730	78,498	1	29	,000	4,056	,047		

Fr₁=5.16 -Kapak Arkası Ölçümleri

Model Summary and Parameter Estimates

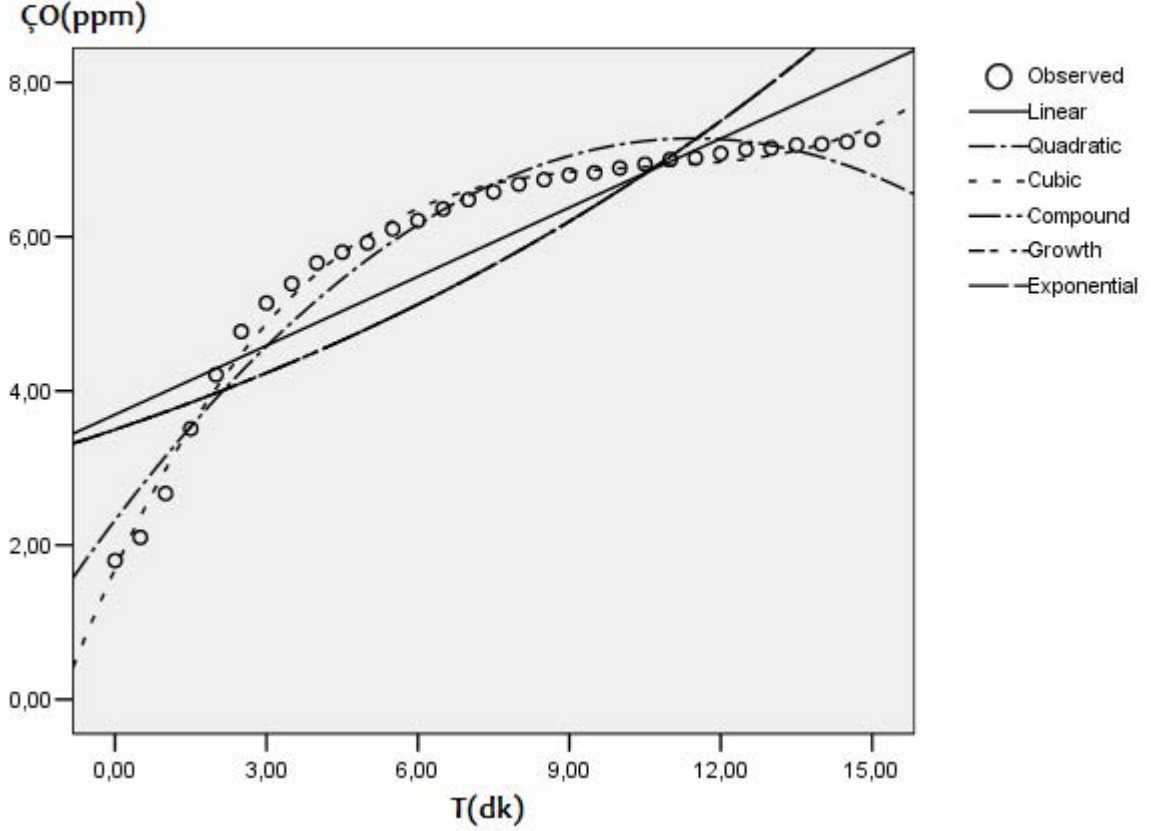
Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,820	132,358	1	29	,000	1,484	,467		
Logarithmic(a)	.	.	.	.	.	.	.
Inverse(b)	.	.	.	.	.	.	.
Quadratic	,966	393,334	2	28	,000	-,298	1,204	-,049	
Cubic	,977	383,177	3	27	,000	-,835	1,672	-,128	,004
Compound	,502	29,179	1	29	,000	,535	1,265		
Power(a)	.	.	.	.	.	.	.
S(b)	.	.	.	.	.	.	.
Growth	,502	29,179	1	29	,000	-,626	,235		
Exponential	,502	29,179	1	29	,000	,535	,235		

Fr₁=5.16 –Hidrolik Sıçrama Sonrası Ölçümler

Model Summary and Parameter Estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,810	123,521	1	29	,000	1,725	,456		
Logarithmic(a)	.	.	.	.	.	.	.
Inverse(b)	.	.	.	.	.	.	.
Quadratic	,969	431,597	2	28	,000	-,107	1,214	-,051	
Cubic	,983	528,682	3	27	,000	-,705	1,936	-,139	,004
Compound	,496	28,552	1	29	,000	,808	1,220		
Power(a)	.	.	.	.	.	.	.
S(b)	.	.	.	.	.	.	.
Growth	,496	28,552	1	29	,000	-,214	,199		
Exponential	,496	28,552	1	29	,000	,808	,199		

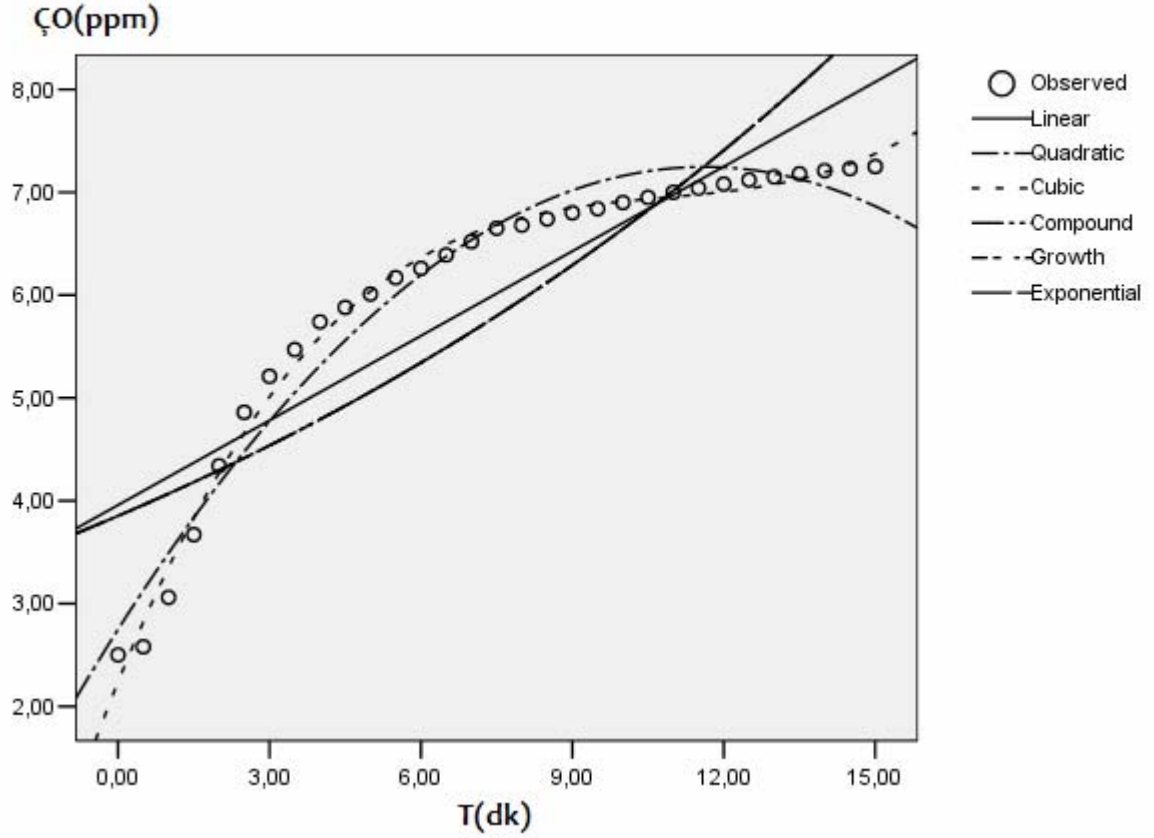
$Fr_1=5.16$ ve $Q_{jet}=26.7 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ -Kapak Arkası Ölçümleri



Model Summary and Parameter Estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,761	92,359	1	29	,000	3,693	,298		
Logarithmic(a)	.	.	.	.	.	.	.
Inverse(b)	.	.	.	.	.	.	.
Quadratic	,956	300,941	2	28	,000	2,324	,865	-,038	
Cubic	,992	1068,854	3	27	,000	1,691	1,417	-,131	,004
Compound	,628	49,015	1	29	,000	3,499	1,066		
Power(a)	.	.	.	.	.	.	.
S(b)	.	.	.	.	.	.	.
Growth	,628	49,015	1	29	,000	1,253	,064		
Exponential	,628	49,015	1	29	,000	3,499	,064		

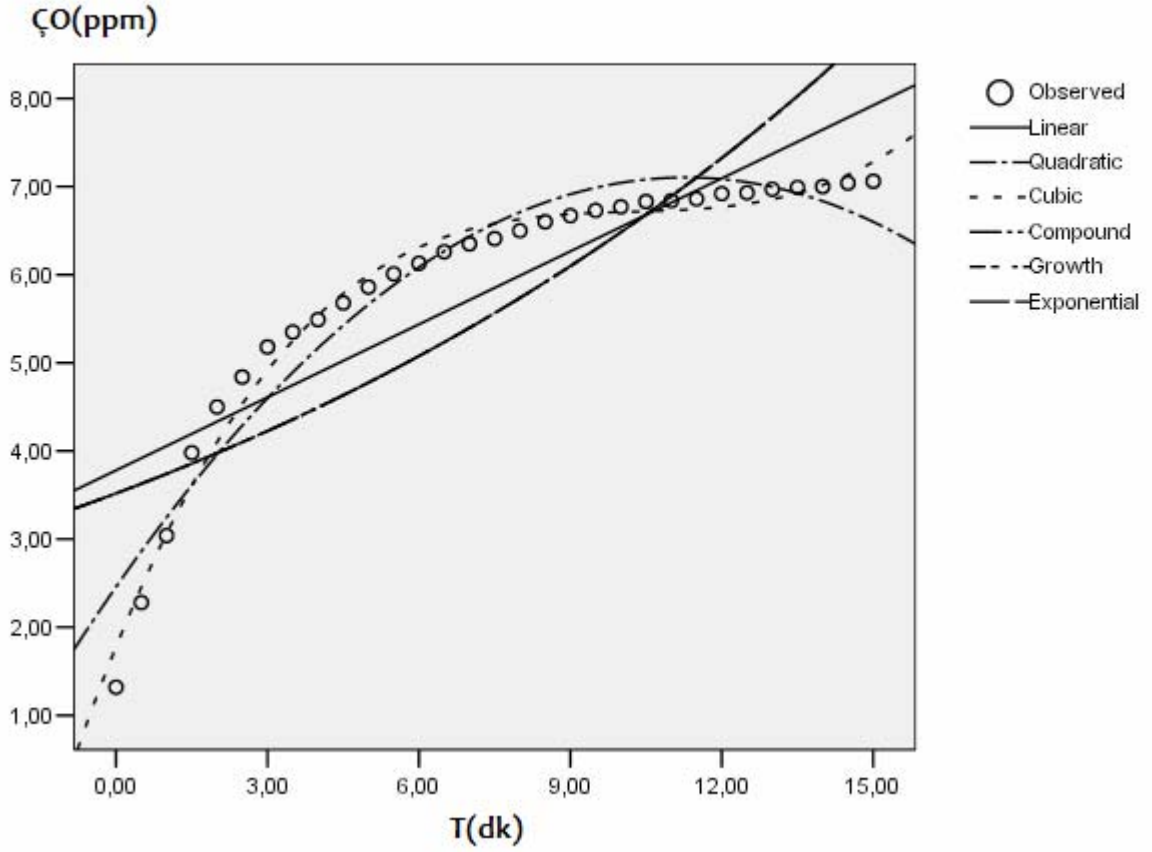
$Fr_1=5.16$ ve $Q_{jet}=26.7 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ -Hidrolik Sıçrama Sonrası Ölçümleri



Model Summary and Parameter Estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,780	102,816	1	29	,000	3,958	,274		
Logarithmic(a)	.	.	.	.	.	.	.
Inverse(b)	.	.	.	.	.	.	.
Quadratic	,964	373,201	2	28	,000	2,749	,775	-,033	
Cubic	,992	1158,444	3	27	,000	2,239	1,220	-,109	,003
Compound	,678	61,092	1	29	,000	3,853	1,056		
Power(a)	.	.	.	.	.	.	.
S(b)	.	.	.	.	.	.	.
Growth	,678	61,092	1	29	,000	1,349	,054		
Exponential	,678	61,092	1	29	,000	3,853	,054		

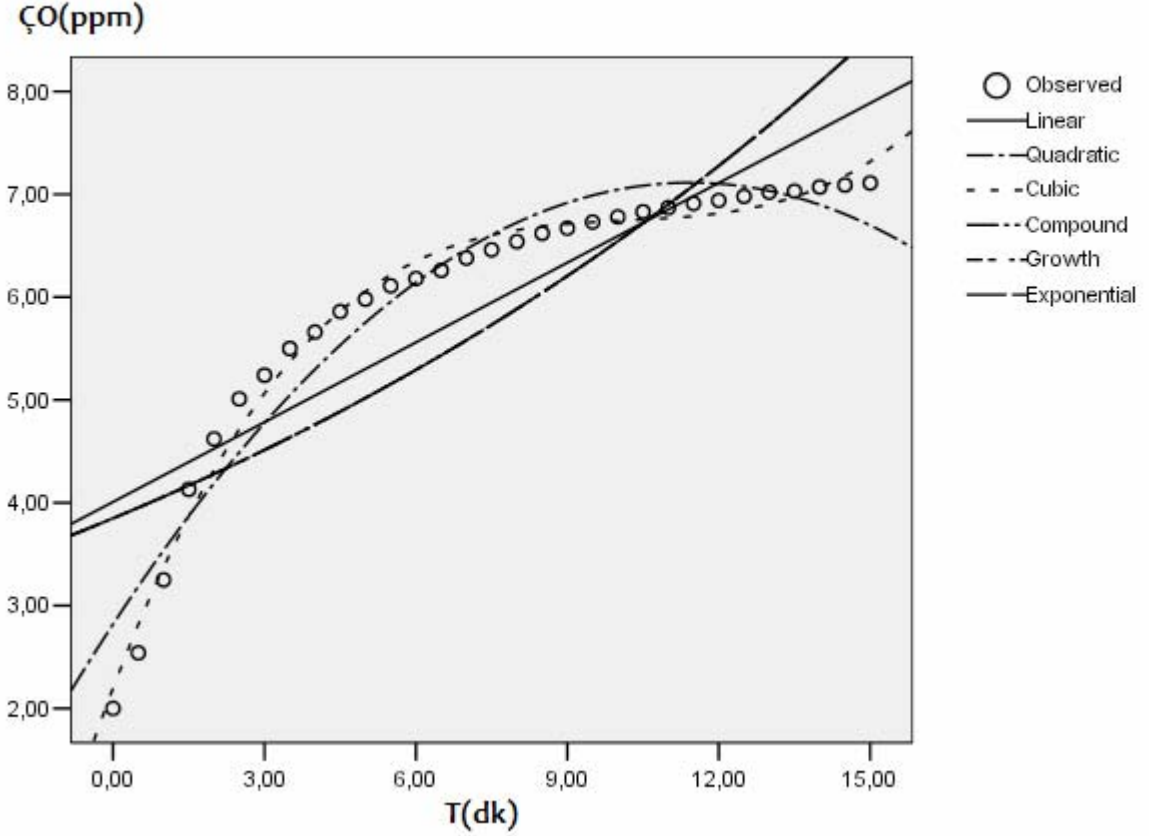
$Fr_1=5.16$ ve $Q_{jet}=50.9 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ -Kapak Arkası Ölçümleri



Model Summary and Parameter Estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,733	79,540	1	29	,000	3,780	,276		
Logarithmic(a)	.	.	.	.	.	.	.
Inverse(b)	.	.	.	.	.	.	.
Quadratic	,937	207,209	2	28	,000	2,458	,823	-,036	
Cubic	,984	538,233	3	27	,000	1,778	1,417	-,137	,004
Compound	,559	36,768	1	29	,000	3,519	1,063		
Power(a)	.	.	.	.	.	.	.
S(b)	.	.	.	.	.	.	.
Growth	,559	36,768	1	29	,000	1,258	,061		
Exponential	,559	36,768	1	29	,000	3,519	,061		

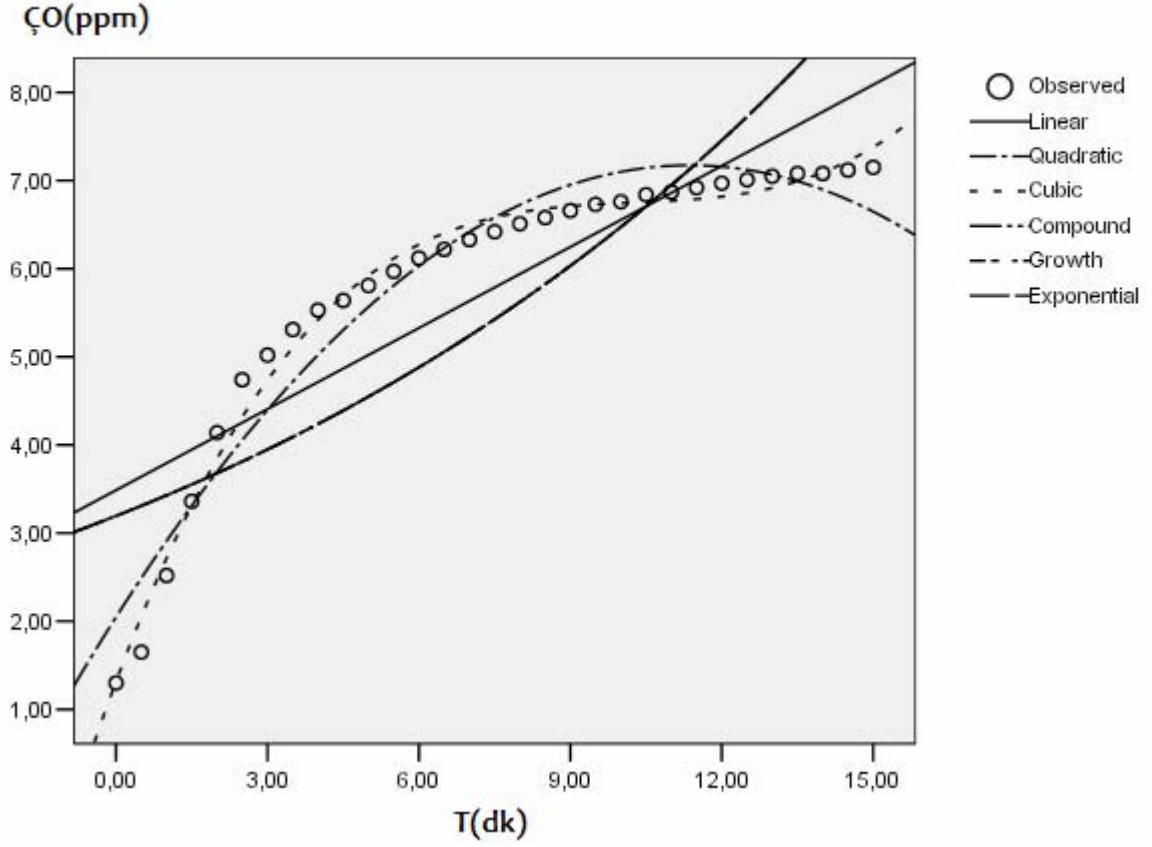
$Fr_1=5.16$ ve $Q_{jet}=50.9.10^{-5}$ m³/s -Hidrolik Sıçrama Sonrası Ölçümleri



Model Summary and Parameter Estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,749	86,700	1	29	,000	4,008	,259		
Logarithmic(a)	.	.	.	.	.	.	.
Inverse(b)	.	.	.	.	.	.	.
Quadratic	,942	226,394	2	28	,000	2,819	,751	-,033	
Cubic	,987	698,603	3	27	,000	2,198	1,292	-,125	,004
Compound	,618	46,832	1	29	,000	3,849	1,055		
Power(a)	.	.	.	.	.	.	.
S(b)	.	.	.	.	.	.	.
Growth	,618	46,832	1	29	,000	1,348	,053		
Exponential	,618	46,832	1	29	,000	3,849	,053		

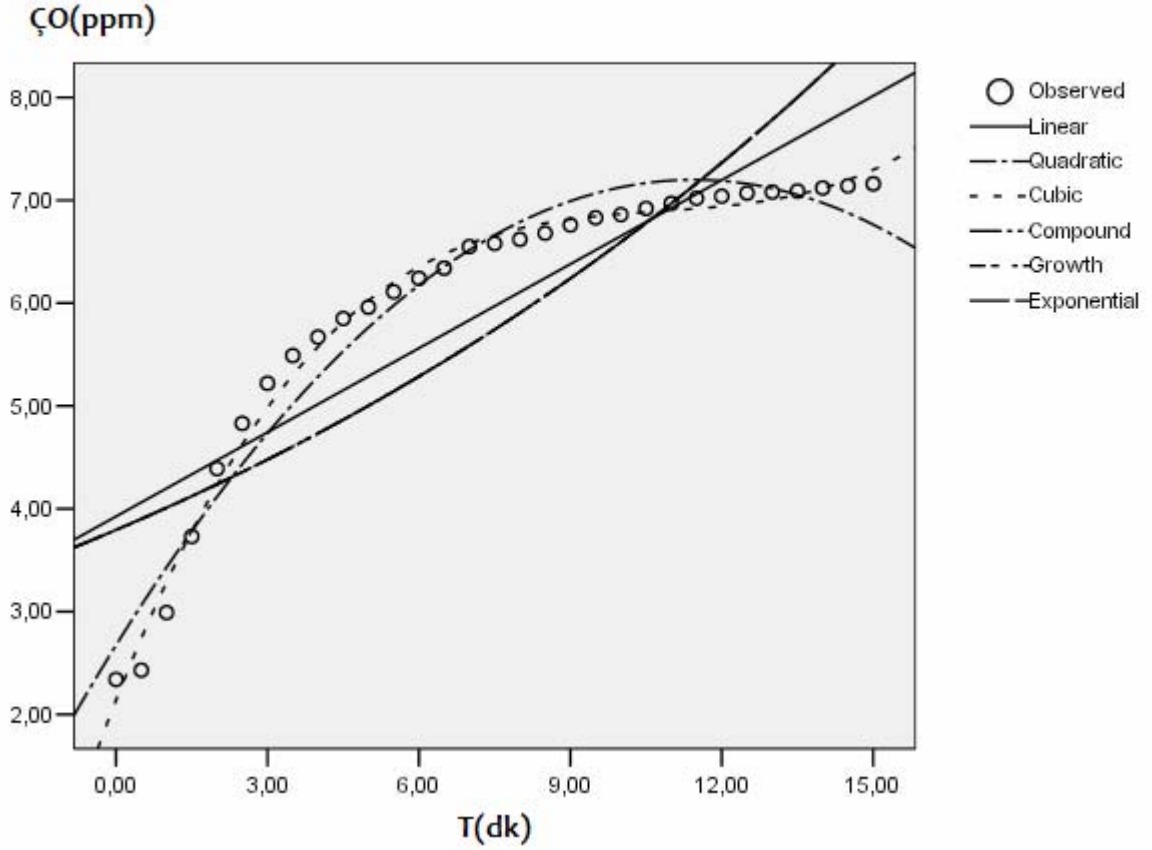
$Fr_1=5.16$ ve $Q_{jet}=95.9.10^{-5}$ m³/s - Kapak Arkası Ölçümleri



Model Summary and Parameter Estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,744	84,451	1	29	,000	3,487	,307		
Logarithmic(a)	.	.	.	.	.	.	.
Inverse(b)	.	.	.	.	.	.	.
Quadratic	,943	233,345	2	28	,000	2,048	,902	-,040	
Cubic	,988	733,447	3	27	,000	1,317	1,540	-,148	,005
Compound	,579	39,888	1	29	,000	3,195	1,073		
Power(a)	.	.	.	.	.	.	.
S(b)	.	.	.	.	.	.	.
Growth	,579	39,888	1	29	,000	1,162	,071		
Exponential	,579	39,888	1	29	,000	3,195	,071		

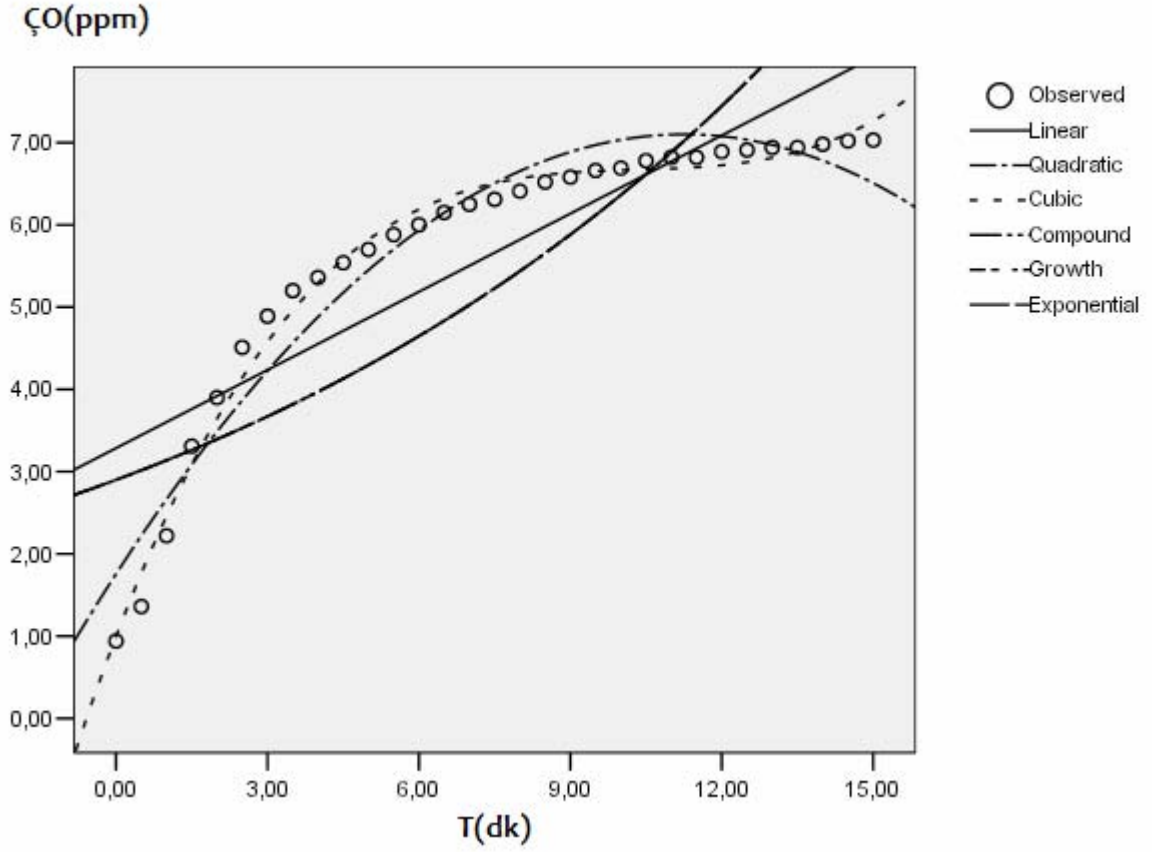
$Fr_1=5.16$ ve $Q_{jet}=95.9.10^{-5}$ m³/s - Hidrolik Sıçrama Sonrası Ölçümleri



Model Summary and Parameter Estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,765	94,191	1	29	,000	3,926	,273		
Logarithmic(a)	.	.	.	.	.	.	.
Inverse(b)	.	.	.	.	.	.	.
Quadratic	,960	338,399	2	28	,000	2,674	,791	-,035	
Cubic	,991	999,193	3	27	,000	2,140	1,256	-,113	,004
Compound	,656	55,222	1	29	,000	3,794	1,057		
Power(a)	.	.	.	.	.	.	.
S(b)	.	.	.	.	.	.	.
Growth	,656	55,222	1	29	,000	1,334	,055		
Exponential	,656	55,222	1	29	,000	3,794	,055		

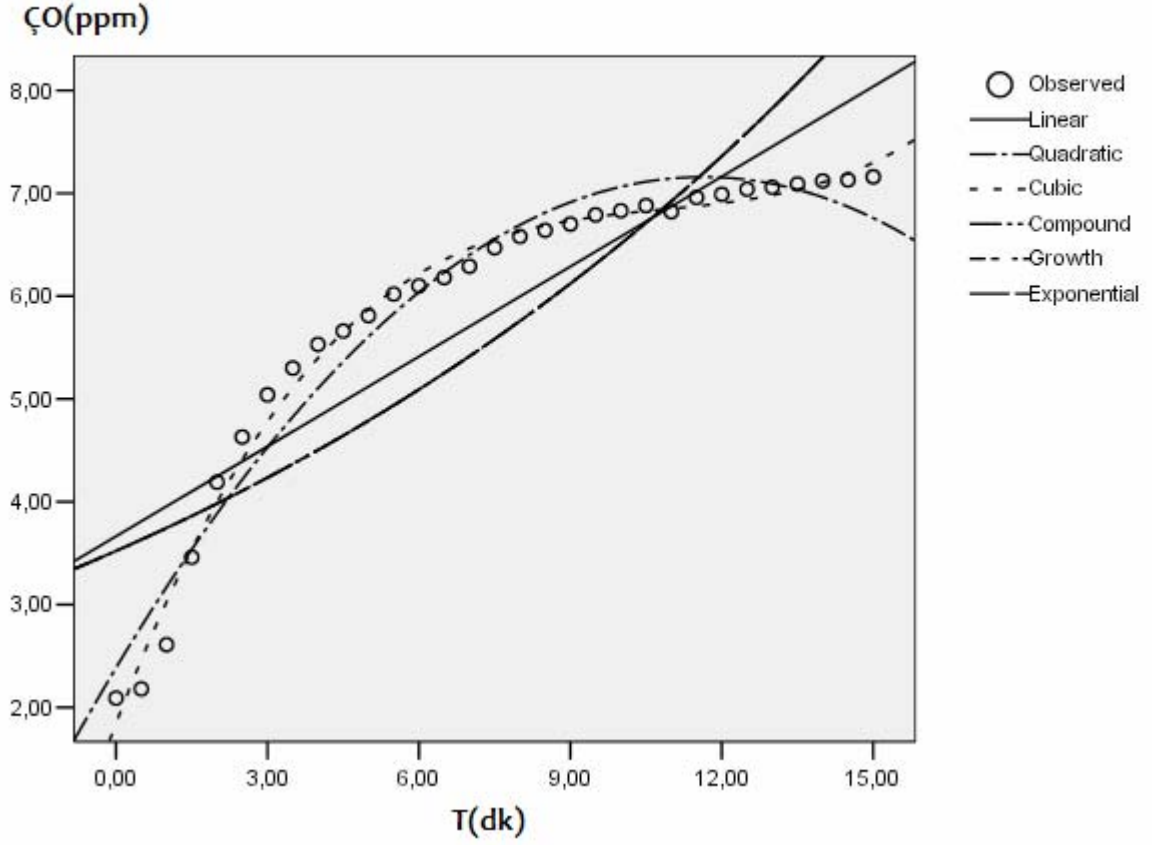
$Fr_1=5.16$ ve $Q_{jet}=120.1.10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ - Kapak Arkası Ölçümleri



Model Summary and Parameter Estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,735	80,577	1	29	,000	3,286	,317		
Logarithmic(a)	.	.	.	.	.	.	.
Inverse(b)	.	.	.	.	.	.	.
Quadratic	,944	234,443	2	28	,000	1,755	,950	-,042	
Cubic	,988	738,609	3	27	,000	,998	1,611	-,154	,005
Compound	,547	35,027	1	29	,000	2,900	1,082		
Power(a)	.	.	.	.	.	.	.
S(b)	.	.	.	.	.	.	.
Growth	,547	35,027	1	29	,000	1,065	,079		
Exponential	,547	35,027	1	29	,000	2,900	,079		

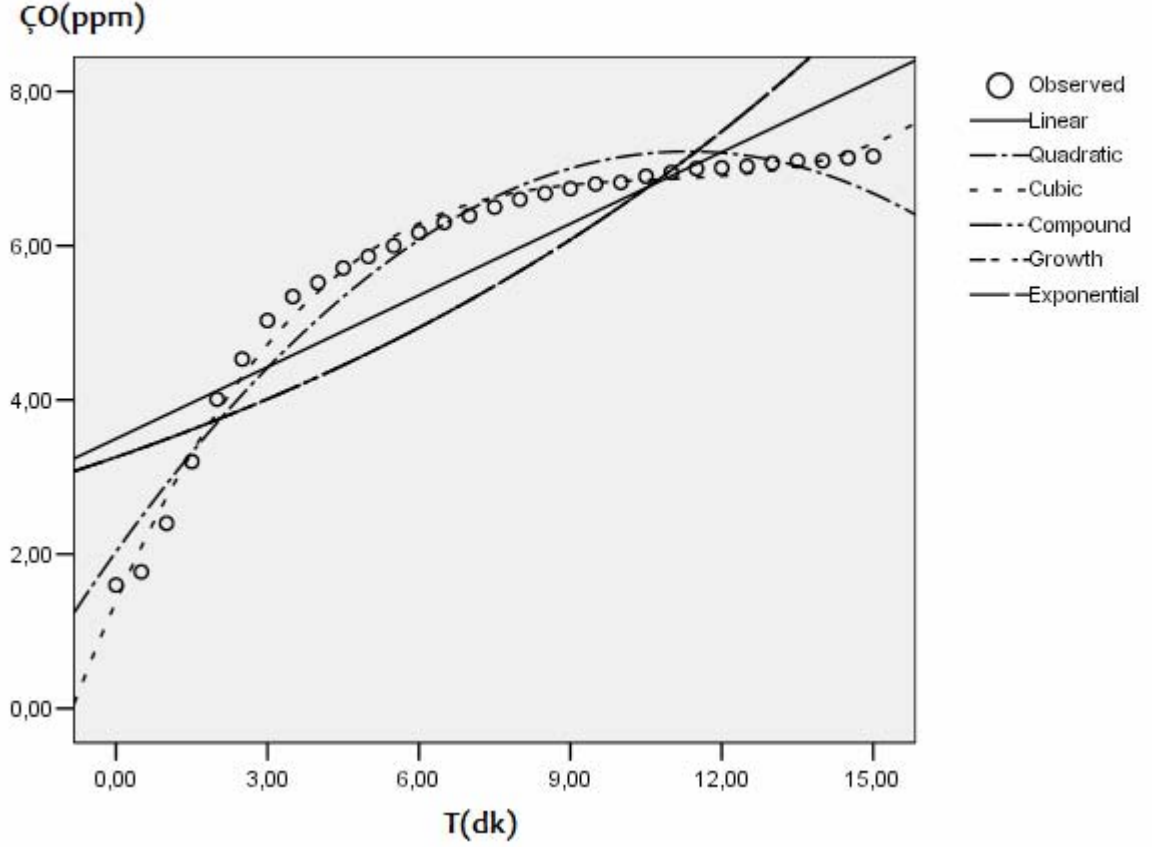
$Fr_1=5.16$ ve $Q_{jet}=120.1.10^{-5}$ m³/s - Hidrolik Sıçrama Sonrası Ölçümleri



Model Summary and Parameter Estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,780	102,870	1	29	,000	3,663	,292		
Logarithmic(a)	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Inverse(b)	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Quadratic	,962	353,202	2	28	,000	2,385	,820	-,035	
Cubic	,990	884,173	3	27	,000	1,846	1,290	-,115	,004
Compound	,659	56,126	1	29	,000	3,522	1,063		
Power(a)	.	.	.	.	.	.	.	.	.
S(b)	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Growth	,659	56,126	1	29	,000	1,259	,061		
Exponential	,659	56,126	1	29	,000	3,522	,061		

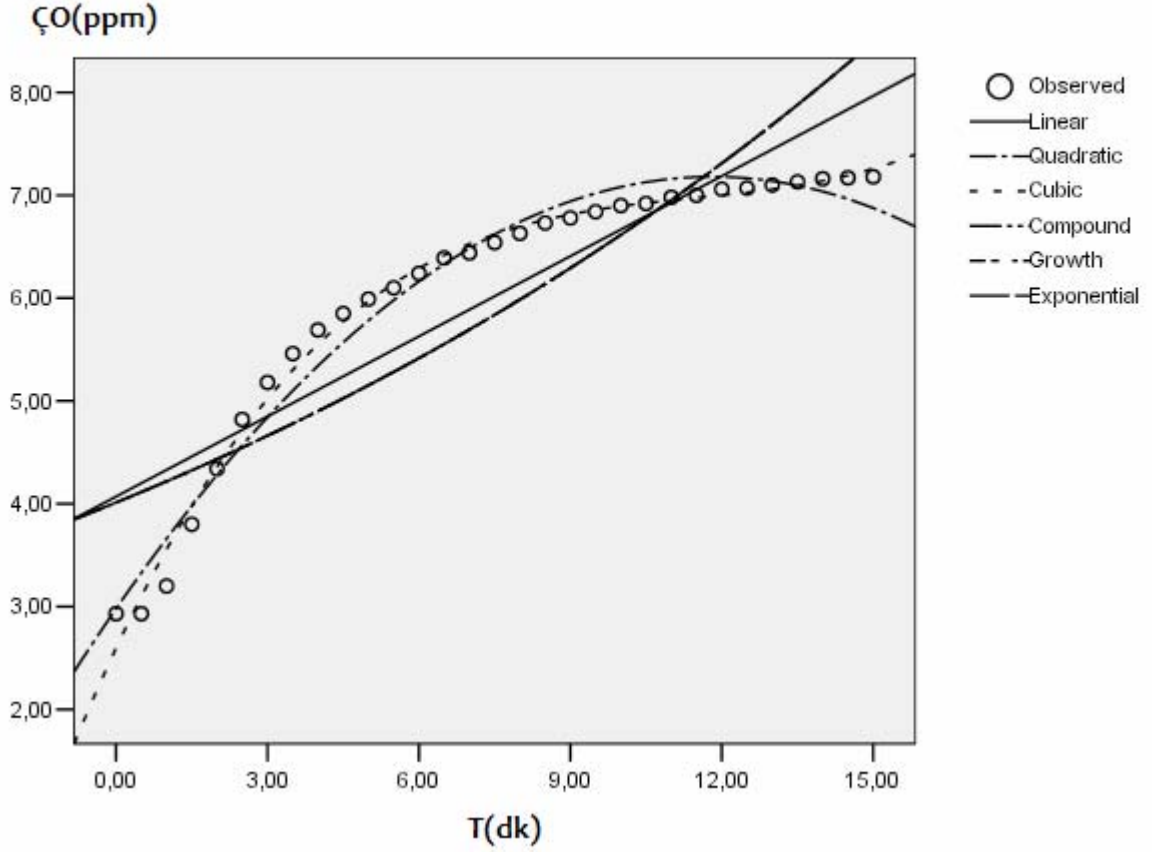
$Fr_1=5.16$ ve $Q_{jet}=196.1.10^{-5}$ m³/s - Kapak Arkası Ölçümleri



Model Summary and Parameter Estimates

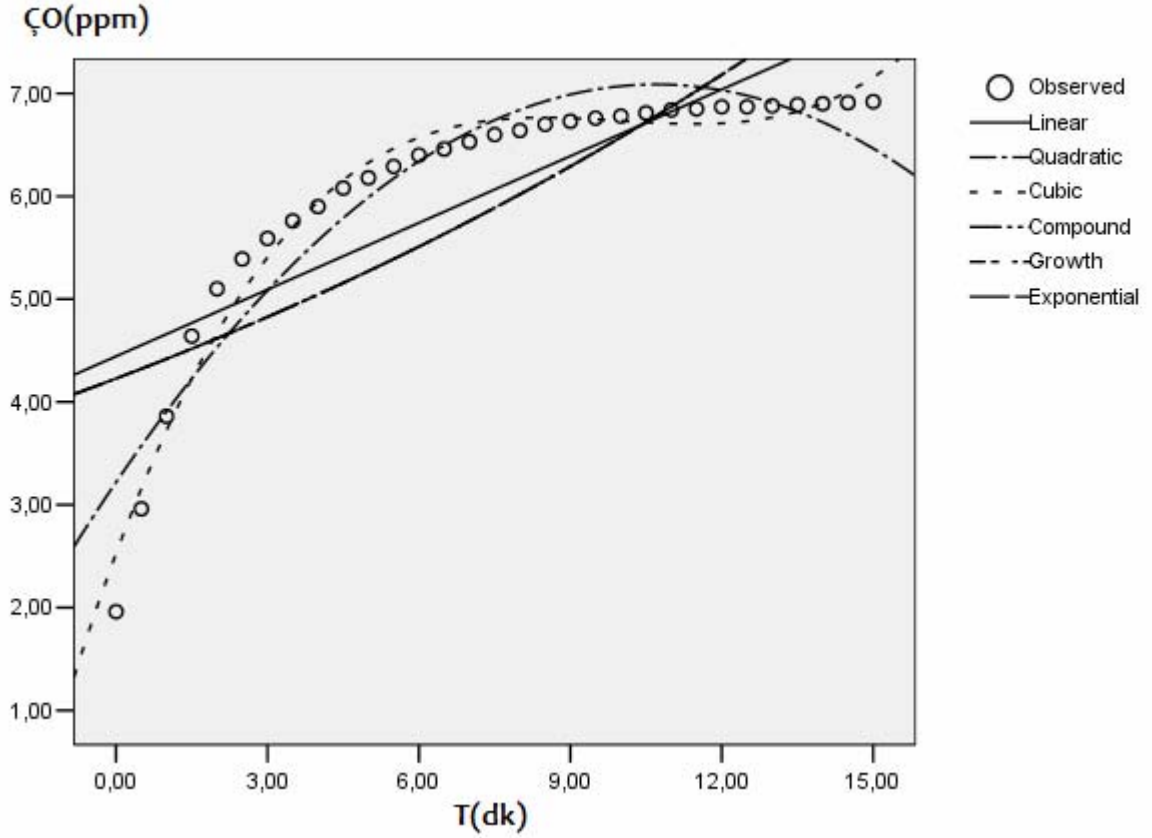
Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,752	87,957	1	29	,000	3,497	,310		
Logarithmic(a)	.	.	.	.	.	.	.
Inverse(b)	.	.	.	.	.	.	.
Quadratic	,956	306,370	2	28	,000	2,032	,916	-,040	
Cubic	,991	968,506	3	27	,000	1,386	1,480	-,136	,004
Compound	,613	45,952	1	29	,000	3,259	1,072		
Power(a)	.	.	.	.	.	.	.
S(b)	.	.	.	.	.	.	.
Growth	,613	45,952	1	29	,000	1,181	,069		
Exponential	,613	45,952	1	29	,000	3,259	,069		

$Fr_1=5.16$ ve $Q_{jet}= 196.1.10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ - Hidrolik Sıçrama Sonrası Ölçümleri



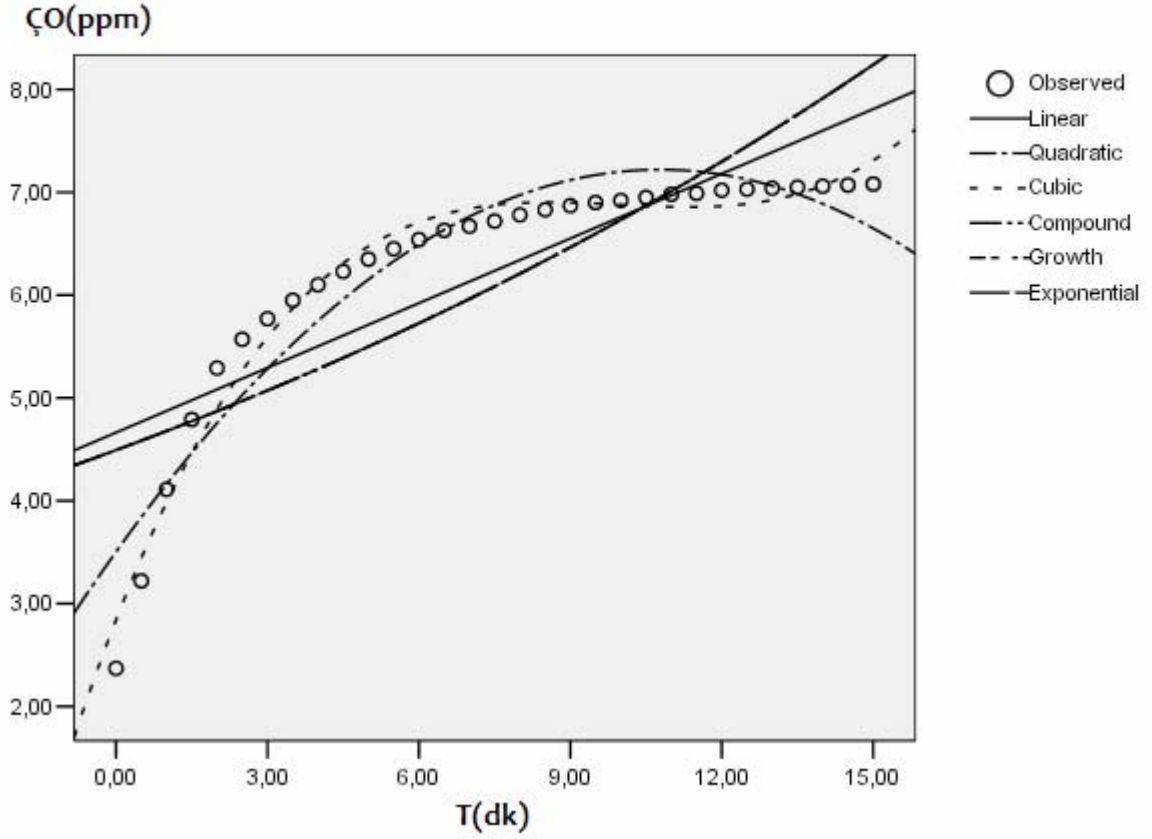
Model Summary and Parameter Estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,802	117,278	1	29	,000	4,070	,260		
Logarithmic(a)	.	.	.	.	.	.	.
Inverse(b)	.	.	.	.	.	.	.
Quadratic	,973	510,962	2	28	,000	2,979	,711	-,030	
Cubic	,992	1080,054	3	27	,000	2,595	1,046	-,087	,003
Compound	,717	73,502	1	29	,000	4,012	1,051		
Power(a)	.	.	.	.	.	.	.
S(b)	.	.	.	.	.	.	.
Growth	,717	73,502	1	29	,000	1,389	,050		
Exponential	,717	73,502	1	29	,000	4,012	,050		

Fr₁=6.07- Kapak Arkası Ölçümleri

Model Summary and Parameter Estimates

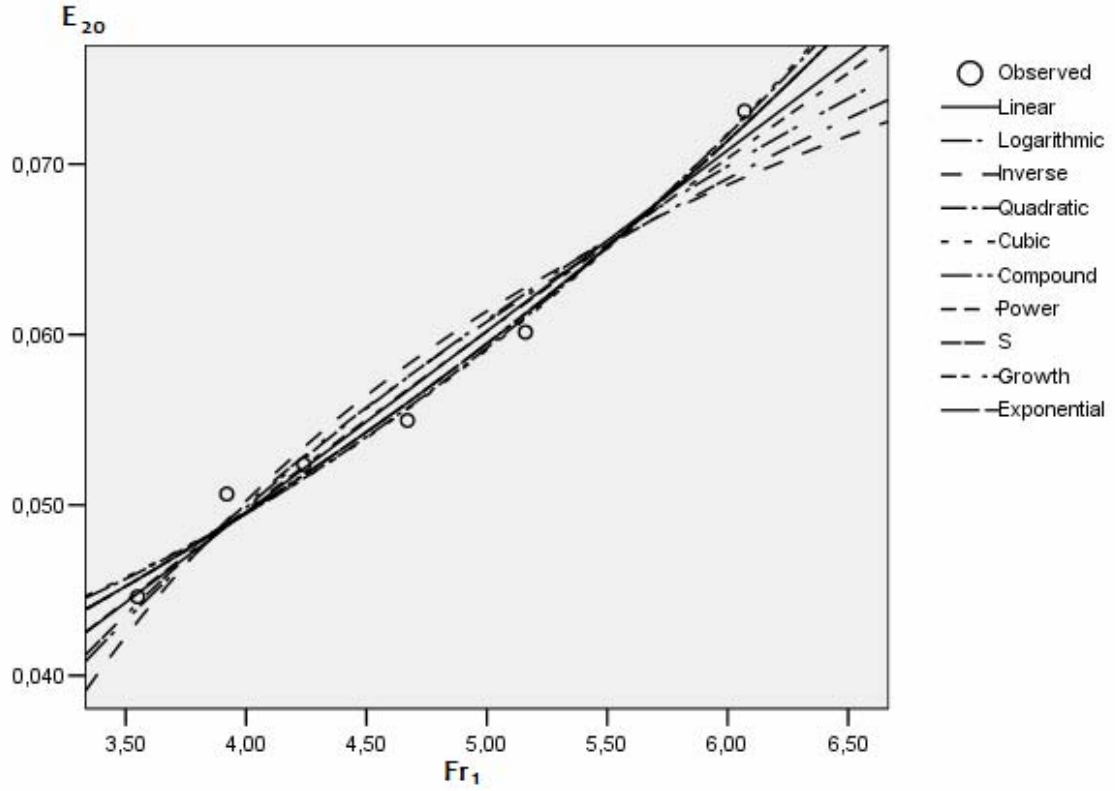
Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,649	53,736	1	29	,000	4,444	,216		
Logarithmic(a)	.	.	.	.	.	.	.
Inverse(b)	.	.	.	.	.	.	.
Quadratic	,902	128,699	2	28	,000	3,219	,723	-,034	
Cubic	,972	312,148	3	27	,000	2,527	1,327	-,136	,005
Compound	,520	31,427	1	29	,000	4,228	1,045		
Power(a)	.	.	.	.	.	.	.
S(b)	.	.	.	.	.	.	.
Growth	,520	31,427	1	29	,000	1,442	,044		
Exponential	,520	31,427	1	29	,000	4,228	,044		

Fr₁=6.07- Hidrolik Sıçrama Sonrası Ölçümleri

Model Summary and Parameter Estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,661	56,503	1	29	,000	4,663	,210		
Logarithmic(a)	.	.	.	.	.	.	.
Inverse(b)	.	.	.	.	.	.	.
Quadratic	,906	135,262	2	28	,000	3,503	,690	-,032	
Cubic	,975	353,542	3	27	,000	2,843	1,266	-,130	,004
Compound	,547	35,072	1	29	,000	4,493	1,041		
Power(a)	.	.	.	.	.	.	.
S(b)	.	.	.	.	.	.	.
Growth	,547	35,072	1	29	,000	1,503	,040		
Exponential	,547	35,072	1	29	,000	4,493	,040		

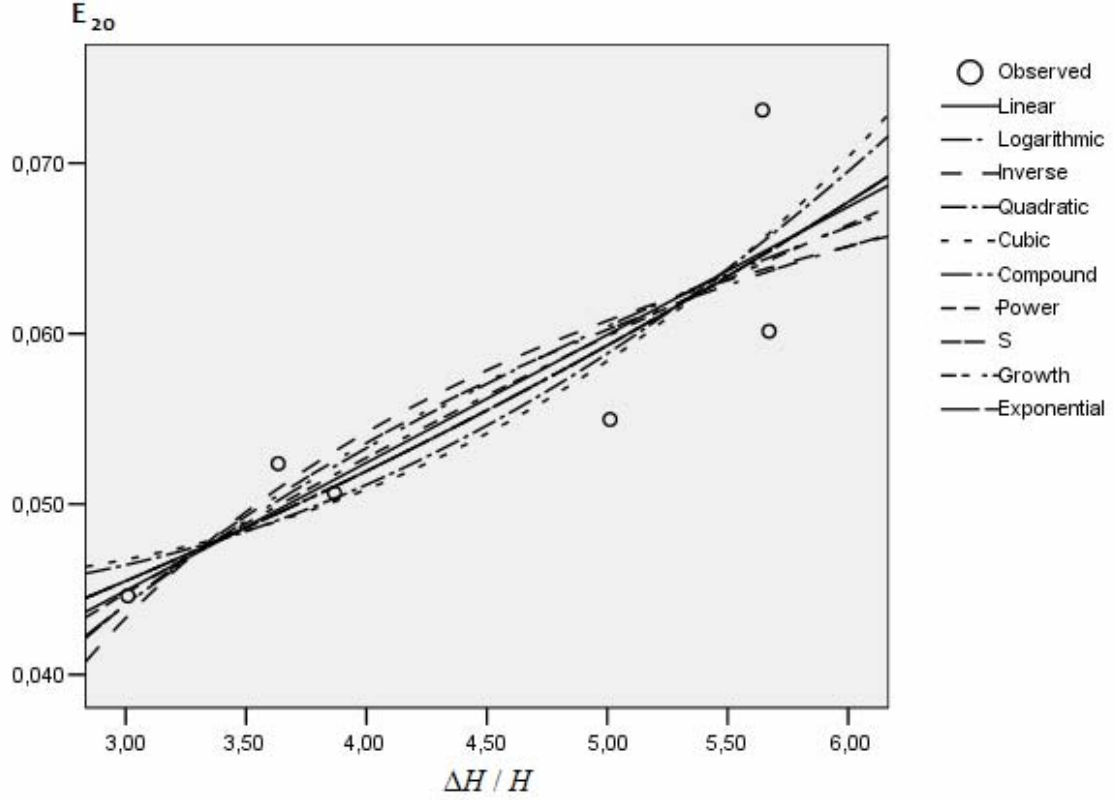
Ek 2 Fr_1 ve E_{20} arasındaki ilişkinin SPSS Analizi ile İncelenmesi



Model Summary and Parameter Estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,975	153,289	1	4	,000	,007	,011		
Logarithmic	,953	81,599	1	4	,001	-,019	,049		
Inverse	,921	46,672	1	4	,002	,106	-,223		
Quadratic	,985	96,047	2	3	,002	,038	-,003	,001	
Cubic	,985	98,919	2	3	,002	,035	,000	,001	5,82E-005
Compound	,980	199,745	1	4	,000	,024	1,200		
Power	,972	139,501	1	4	,000	,015	,856		
S	,952	80,185	1	4	,001	-2,024	-3,884		
Growth	,980	199,745	1	4	,000	-3,735	,183		
Exponential	,980	199,745	1	4	,000	,024	,183		

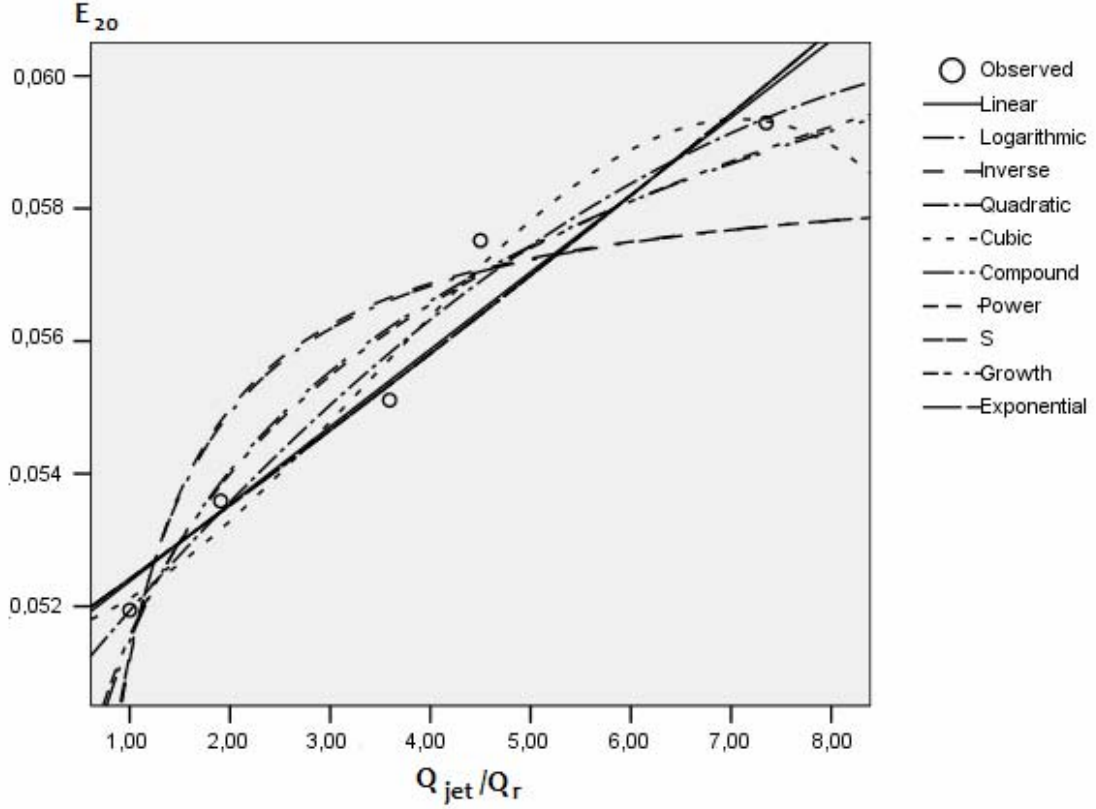
Ek 3 E₂₀ ve $\Delta H/H$ arasındaki ilişkinin SPSS Analizi ile İncelenmesi



Model Summary and Parameter Estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,738	11,244	1	4	,028	,022	,008		
Logarithmic	,722	10,380	1	4	,032	,009	,032		
Inverse	,699	9,279	1	4	,038	,087	-,131		
Quadratic	,750	4,489	2	3	,125	,050	-,006	,001	
Cubic	,753	4,570	2	3	,123	,045	,000	,000	,000
Compound	,783	14,464	1	4	,019	,031	1,142		
Power	,775	13,756	1	4	,021	,024	,568		
S	,759	12,566	1	4	,024	-2,342	-2,338		
Growth	,783	14,464	1	4	,019	-3,488	,133		
Exponential	,783	14,464	1	4	,019	,031	,133		

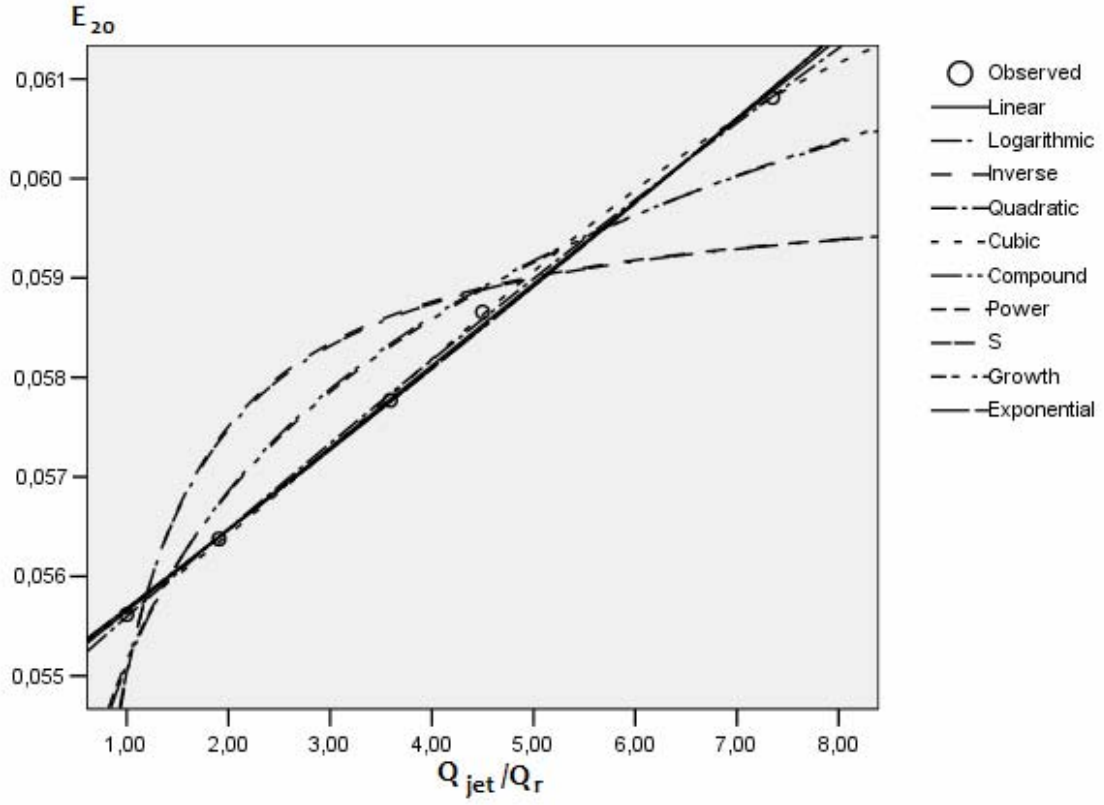
Ek 4 $Fr_1 = 3.92$ 'de E_{20} ve Q_{jet}/Q_r 'nin SPSS Analizi ile İncelenmesi



Model Summary and Parameter Estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,952	60,018	1	3	,004	,060	,001		
Logarithmic	,945	51,693	1	3	,006	,060	,004		
Inverse	,799	11,912	1	3	,041	,068	-,009		
Quadratic	,974	37,166	2	2	,026	,058	,002	,000	
Cubic	,979	15,192	3	1	,186	,060	,000	,000	-4,52E-005
Compound	,948	54,619	1	3	,005	,060	1,021		
Power	,951	58,531	1	3	,005	,060	,066		
S	,813	13,006	1	3	,037	-2,681	-,137		
Growth	,948	54,619	1	3	,005	-2,817	,021		
Exponential	,948	54,619	1	3	,005	,060	,021		

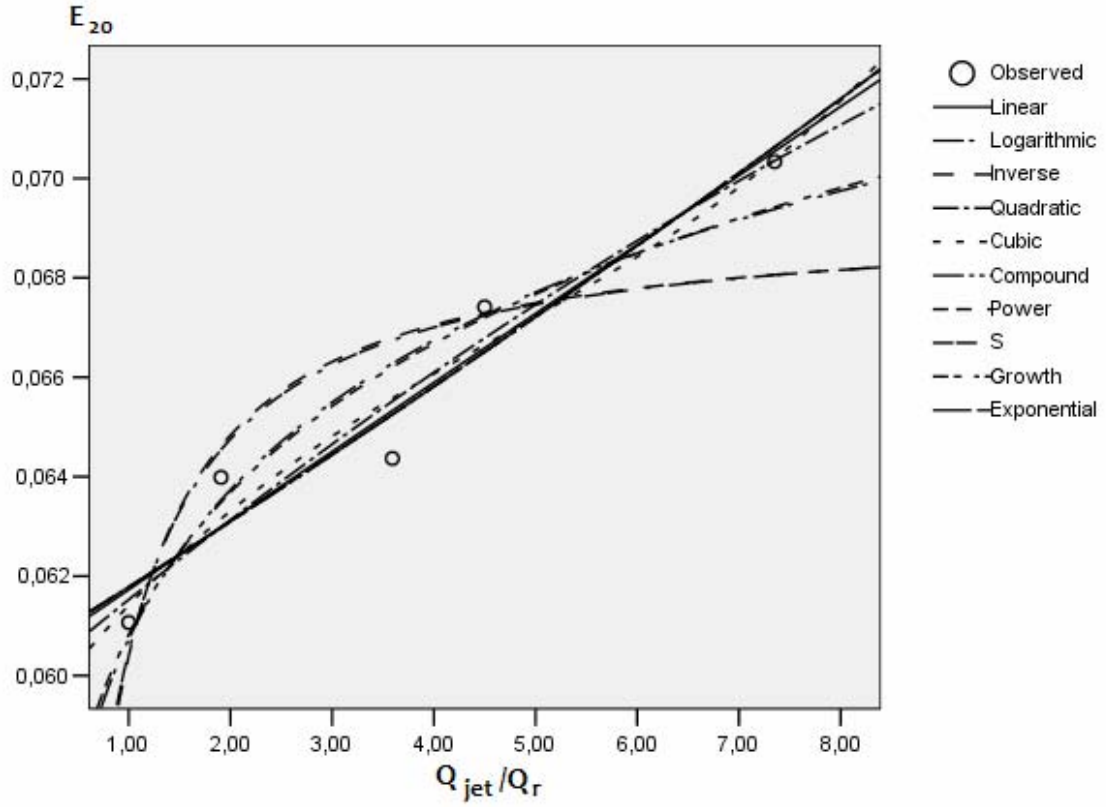
Ek 5 $Fr_1 = 4.67$ 'de E_{20} ve Q_{jet}/Q_r 'nin SPSS Analizi ile İncelenmesi



Model Summary and Parameter Estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,999	2249,522	1	3	,000	,055	,001		
Logarithmic	,927	37,876	1	3	,009	,055	,003		
Inverse	,737	8,398	1	3	,063	,060	-,005		
Quadratic	,999	1580,285	2	2	,001	,055	,001	-1,09E-005	
Cubic	1,000	1278,325	3	1	,021	,055	,001	8,28E-005	-7,54E-006
Compound	,998	1339,328	1	3	,000	,055	1,014		
Power	,933	41,946	1	3	,007	,055	,044		
S	,748	8,887	1	3	,059	-2,813	-,087		
Growth	,998	1339,328	1	3	,000	-2,902	,014		
Exponential	,998	1339,328	1	3	,000	,055	,014		

Ek 6 $Fr_1 = 5.16$ 'da E_{20} ve Q_{jet}/Q_r 'nin SPSS Analizi ile İncelenmesi



Model Summary and Parameter Estimates

Equation	Model Summary					Parameter Estimates			
	R Square	F	df1	df2	P	Constant	b1	b2	b3
Linear	,939	45,896	1	3	,007	,060	,001		
Logarithmic	,902	27,745	1	3	,013	,061	,004		
Inverse	,762	9,616	1	3	,053	,069	-,009		
Quadratic	,942	16,149	2	2	,058	,060	,002	-3,97E-005	
Cubic	,943	5,513	3	1	,301	,059	,003	,000	2,45E-005
Compound	,933	42,085	1	3	,007	,060	1,021		
Power	,910	30,218	1	3	,012	,061	,066		
S	,779	10,557	1	3	,048	-2,669	-,137		
Growth	,933	42,085	1	3	,007	-2,805	,021		
Exponential	,933	42,085	1	3	,007	,060	,021		

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	13.03.1985	
Doğum yeri	Bursa	
Lise	2000-2003	Yıldırım Ulubatlı Hasan Anadolu Lisesi
Lisans	2004-2008	Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2008-	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enst. İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Hidrolik Programı

Çalıştığı Kurumlar

2008-2010	CEMA Mühendislik ve Proje A.Ş.
2010-Devam ediyor	MER-ŞEN İnşaat Tic.Ltd. Şti.