

T.C.
BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ ve DİCLE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM / FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

GEÇİRİMLİ TERSİP BENTLERİNİN HİDROLİK ANALİZİ

Havva Seda AYTEMUR

AĞUSTOS 2021

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

GEÇİRİMLİ TERSİP BENTLERİNİN HİDROLİK ANALİZİ

Hazırlayan
Havva Seda AYTEMUR

Danışman
Prof. Dr. Mehmet Cihan AYDIN

Jüri Üyeleri
Prof. Dr. Fevzi ÖNEN
Prof. Dr. Mehmet Cihan AYDIN
Doç. Dr. Ercan IŞIK

AĞUSTOS 2021

ONAY

Havva Seda AYTEMUR tarafından hazırlanan “**Geçirimli Tersip Bentlerinin Hidrolik Analizi**” adlı tez çalışması .../.../... tarihinde yapılan sınavla aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Prof. Dr. Fevzi ÖNEN
(Başkan)

Prof. Dr. Mehmet Cihan AYDIN
(Danışman)

Doç. Dr. Ercan IŞIK
(Üye)

Bu tezin kabulü, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../.../...gün ve .../... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Zeki ARGUNHAN
Enstitü Müdürü

BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre hazırlamış olduğum “**Geçirimli Tersip Bentlerinin Hidrolik Analizi**” adlı tezimin özgün bir çalışma olduğunu, tez hazırlanırken tüm aşamalarda bilimsel etik ilkelerine uygun davrandığımı, tez kapsamında sunulan tüm verileri bilimsel etik ilkelerine uygun elde ettiğimi, tezde faydalandığım tüm eserlere atıf yaptığımı ve kaynaklar kısmında bu eserleri gösterdiğimi beyan ederim. 02/07/2021

Havva Seda AYTEMUR

İmza

ÖZET

GEÇİRİMLİ TERSİP BENTLERİNİN HİDROLİK ANALİZİ

Havva Seda AYTEMUR

Yüksek Lisans Tezi

Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mehmet Cihan AYDIN

Ağustos 2021, 50 sayfa

Geçirimli tersip bentleri özellikle şiddetli yağış rejimlerinin görüldüğü engebeli bölgelerde kullanılan bir su yapısıdır. Yüksek hızla gelen taşkın debiyle birlikte gelen küçük malzemeleri geçirirken, sürüklenen (kaya, iri taş gibi) ve yüzen (Ağaç, kütük vb.) iri malzemelerin geçişine izin vermez. Belirli aralıklarla inşa edilen bu yapılar akarsu akımının hidrolik karakteristiklerini de değiştirir. Bu tez çalışmasında geçirimli tersip bentlerinin akımın hidroliğine etkileri deneysel ve sayısal yöntemlerle incelenmiştir. Bu amaçla ilk olarak, kurulan bir açık kanal içerisine farklı boyutlarda bloklar yerleştirilerek farklı akım koşullarındaki hidrolik davranışları deneysel olarak incelenmiştir. İkinci olarak; model deneyi boyutlarındaki aynı blok tipleri için Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) kullanılarak üç boyutlu sayısal model analizleri gerçekleştirilmiştir. Sayısal ve deneysel modellerden elde edilen su yüzü profilleri, enerji sönümleme oranları ve hız profilleri gibi akımın hidrolik özellikleri ortaya konulmuş ve tartışılmıştır. Ayrıca bu deneysel ve sayısal model sonuçları karşılaştırılarak sayısal modelin doğrulaması yapılmaya çalışılmıştır. Son olarak gerçek prototip boyutlarında sayısal model çalışmaları yapılarak farklı Froude sayılarındaki akımın durumları incelenmiştir. Bu çalışmada katı madde hareketi üzerinde durulmamış sadece akımın hidroliği üzerinde durulmuştur.

Anahtar kelimeler: Süzücü, Geçirgen, Geçirimli Tersip Bentleri, Hidrolik Model Deneyleri, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD)

ABSTRACT

HYDRAULIC ANALYSIS OF SLIT CHECK DAMS

Havva Seda AYTEMUR

Master Thesis

Bitlis Eren University Graduate Education Institute

Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet Cihan AYDIN

August 2021, 50 pages

Slit check dams are a water structure used especially in rugged regions where heavy precipitation regimes are seen. While it passes small materials coming with high-speed flood flow, it does not allow the passage of large materials that are drifting (such as rocks, large stones) and floating (trees, logs, etc.). These structures, which are built at regular intervals, also change the hydraulic characteristics of the stream flow. In this thesis, the effects of slit check dams on the hydraulics of the flow were investigated by experimental and numerical methods. For this purpose, firstly, blocks of different sizes were placed in an open channel and their hydraulic behavior under different flow conditions was experimentally investigated. Secondly, three-dimensional numerical model analyzes were performed using Computational Fluid Dynamics (CFD) for the same block types in model experiment dimensions. The hydraulic properties of the flow such as water surface profiles, energy absorption ratios, velocity profiles obtained from numerical and experimental models are presented and discussed. In addition, this experimental and numerical model results were compared and the numerical model was tried to be verified. Finally, numerical model studies were carried out in real prototype dimensions and the current states of different Froude numbers were examined. In this study, the movement of solids is not emphasized, but only the hydraulics of the flow.

Keywords: Slit dam, Check dam, Hydraulic Models, Computational Fluid Dynamics, CFD

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması **Bitlis Eren Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (BEBAP)** tarafından **BEBAP 2020.002** proje numarasıyla desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı BEBAP koordinatörlüğüne teşekkür ederiz.

Bu tez çalışması sırasında, tez konusunun belirlenmesinden başlayarak son aşamaya kadar her konuda benden yardımlarını esirgemeyen danışman hocam sayın Prof. Dr. Mehmet Cihan AYDIN'a ve Arş. Gör. Ali Emre ULU'ya şükranlarımı sunarım.



ÖNSÖZ

Tersip bentleri genel olarak taşkın zararlarını azaltmak, sediment depolamak için yapılan yapılardır. Genelde yapılacağı yerin 50 yıllık getirdiği sediment hesaplanarak bu yapılar projelendirilir. Ülkemizde son yıllarda artan sel ve taşkınlar ciddi maddi kayıplara sebep olurken aynı zamanda ülkede su verimliliğinin de düşmesine sebep olur. Gelen suyun enerjisinin azaltılması ve kaba malzemenin membadan mansaba geçişinin engellenmesi, küçük boyutlarda gelen malzemenin mansaba aktarılması için yapılan tersip bendi çeşidine geçirimli tersip bendi denir.

Geçirimli tersip bendi ülkemizde genelde Doğu Karadeniz’de yapılır. Doğu Karadeniz’in engebeli doğal yapısı, ormanlık alanları ve şiddetli yağış rejimleri sebebiyle çok fazla sayıda sel ve taşkın oluşmaktadır. Oluşan bu taşkın ve seller beraberinde ağaç dalları ve kaya parçalarını getirir. Bu malzemelerin mansaba geçişlerinin engellenmesi için geçirgen tersip bentleri kullanılır. Katı maddelerinin geçişiyle birlikte normal akış durumlarında bu bentlerin akımın hidrolojisi üzerine etkisinin incelenmesi de ayrıca bir çalışma konusudur.

Bu tezde, bir açık kanal sistemi içine yerleştirilen farklı boyutlarda geçirimli tersip bentlerinin akım üzerine etkilerini incelemek için bir dizi deneysel ve sayısal çalışmalar yürütülmüştür. Deneyler boyut analizi ve benzerlik kuralları göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Sayısal model analizleri için 3 boyutlu hesaplamalı akışkanlar dinamiği yöntemlerinden yararlanılmıştır. Deney sonuçları ve sayısal olarak FLOW-3D ile gerçekleştirilen sayısal model sonuçları karşılaştırılmıştır. Sayısal modellerin avantajları kullanılarak deneysel ölçekteki çalışmaların yanında gerçek prototip ölçeğinde analizler de yapılmıştır. Bu analizler sonucunda ayrıca kırılan enerji miktarları da hesaplanmıştır.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	v
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	vii
ÖNSÖZ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
SİMGELER DİZİNİ	xiii
KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Türkiye'nin Taşkın Afetleri Yönünden Durumu	2
1.2. Tersip Bentleri:.....	6
1.2.1. Yapıldıkları malzemeye göre	6
1.2.2. Depoladıkları Malzemeye Göre	7
1.3. Geçirgen/Süzücü/Geçirimli Tersip Bentleri	7
1.4. Önceki Çalışmalar	10
1.4. Çalışmanın Amacı	12
2. MATERYAL VE YÖNTEM	13
2.1. Hidrolik Model Çalışmaları.....	13
2.1.2. Boyut Analizi	16
2.2. Sayısal Model Çalışması.....	17
2.2.1. True VOF Yöntemi.....	19
2.2.2. Türbülans Model	20
2.2.3. Sayısal modelin sınır koşulları ve meş yapısı	21
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	22
3.1. Deneysel Model Sonuçları	22
3.1.2. Enerji Sönümlleme Oranları.....	32
3.2.1. Su yüzü profillerinin karşılaştırılması.....	37
3.2.2. Boykesit hız kontörleri.....	41
3.3. Sayısal Prototip Sonuçları	45
4. SONUÇ	47
5. KAYNAKLAR	49

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Tersip bendi türleri.....	6
2.1. Deney parametreleri	15
3.1. Tip-1 için enerji sönümleme hesap tabloları ($J = 0.0000$).....	33
3.2. Tip-1 için enerji sönümleme hesap tabloları ($J = 0.0025$).....	33
3.3. Tip-1 için enerji sönümleme hesap tabloları ($J = 0.005$).....	33
3.4. Tip-2 için enerji sönümleme hesap tabloları ($J = 0.0000$).....	34
3.5. Tip-2 için enerji sönümleme hesap tabloları ($J = 0.0025$).....	34
3.6 Tip-2 için enerji sönümleme hesap tabloları ($J = 0.005$).....	34
3.7. Tip-3 için enerji sönümleme hesap tabloları ($J = 0.0000$).....	35
3.8. Tip-3 için enerji sönümleme hesap tabloları ($J = 0.0000$).....	35
3.9. Tip-3 için enerji sönümleme hesap tabloları ($J = 0.0000$).....	35

ŞEKİLLER DİZİNİ

SEKİL	Sayfa
1.1. Sel oluşum sayıları uzun yıllar değişimi (1940-2010) (MGM, 2008)	3
1.2. 1940-2010 yılları arasında taşkın gözlenme sayıları (MGM, 2008)	3
1.3. 1955-2012 Arasında yaşanan taşkınlar ve can kayıpları (Kerim ve Sürme, 2019)	4
1.4. DSİ tarafından inşa edilmiş bir tersip bendi Artvin Yusufeli ilçesi Balalan Köyü	5
1.5. a) Düşü havuzlu kagir bir tersip bendi Kırıkkale-Hasandede kasabası Kale dere, b) Toprak dolgu gövdeli tersip bendi, Isparta, c) Fildöfer bir tersip bendi Antalya-Elmalı Koçaçay	7
1.6. a) Odunsu taşıntıyı tutan ve sel suyu miktarını ayarlayan süzücü yapılar, b) Yatak yükünün ayıklanması ve sel suyu miktarını ayarlayan süzücü bent, c) Kaba rüsubat tutma ve enerji kırma işlevi gören süzücü bentler, d) Ayaklı süzücü bent tipi, e) Ayaklı ve ızgaralı süzücü bent tipi, f) Dip açıklıklı süzücü bent tipi	10
1.7. Farklı tiplerdeki geçirgen tersip bentleri	11
2.1. Deney düzeneğinin şematik gösterimi	14
2.2. Deney düzeneğinden görüntüler	14
2.3. Geçirimli tersip bendi bloklarının görüntüsü	15
2.4. 3B yazıcı yardımıyla deney bloklarını üretimi	16
2.5. Flow-3D'nin sayısal model kavramları: a) Hücre yapısı, b) Akışkan yüzey (TruVOF) konsepti, c) FAVOR yöntemi	20
2.6. Sayısal modelin sınır koşulları ve ağ yapısı	21
3.1. Deneysel çalışmalardan görüntüler	23
3.2. Tip-1 için Deneysel çalışmalardan su yüzü görüntüleri	23
3.3. Tip-1 kanal eğimi $J=0$ için farklı debilerde su yüzü profilleri	24
3.4. Tip-2 kanal eğimi $J=0$ için farklı debilerde su yüzü profilleri	25
3.5. Tip-3 kanal eğimi $J=0$ için farklı debilerde su yüzü profilleri	26
3.6. Aynı debilerde farklı eşik tipleri için su yüzü profillerinin karşılaştırılması	27
3.7. Aynı debilerde farklı kanal eğimleri için su yüzü profillerinin karşılaştırılması (Tip 1) ..	29
3.8. Aynı debilerde farklı kanal eğimleri için su yüzü profillerinin karşılaştırılması (Tip 2) ..	30
3.9. Aynı debilerde farklı kanal eğimleri için su yüzü profillerinin karşılaştırılması (Tip 3) ..	31
3.10. Enerji sönümleme oranlarının birim debi ile değişimlerinin karşılaştırmaları	36
3.11. Tip-1 kanal eğimi $J=0$ için farklı debilerde su yüzü profilleri deneysel-sayısal model karşılaştırmaları	38

3.12. Tip-2 kanal eğimi $J=0$ için farklı debilerde su yüzü profilleri deneysel-sayısal model karşılaştırmaları	39
3.13. Tip-3 kanal eğimi $J=0$ için farklı debilerde su yüzü profilleri deneysel-sayısal model karşılaştırmaları	40
3.14. Farklı eşik tipleri için maksimum debideki HAD çıktıları	41
3.15. Tip-1 için farklı debilerde hız kontörleri	42
3.16. Tip-2 için farklı debilerde hız kontörleri	43
3.17. Tip-3 için farklı debilerde hız kontörleri	44
3.18. Farklı Froude sayılarında prototip su yüzü perspektif görüntüler.....	45
3.19. Farklı Froude sayıları için prototip boykesit hız kontörleri.....	46



SİMGELER DİZİNİ

V	Akım hızı
Q, q	Debi
A	Enkesit alanı
J	Hidrolik eğim
M	Metre
m^3	Metreküp
L	Litre
P	Su yoğunluğu
σ	Yüzey gerilimi
ν	Kinematik vizskozite
ΔE	Energiler arasındaki fark
P_T	Türbülans kinetik enerji üretimi
G_T	Batmazlık üretim terimi
D_ϵ	Türbülans yayılımının taşınım denklemi
C_d	Drag coefficient
Fr	Froude sayısı
Re	Reynolds sayısı
W	Weber sayısı
k	Kinetik enerji
ϵ	Yayılım oranı
F	Tek bir akışkan fazı için akışkanın doldurduğu hacim oranı
V_f	Volume Fraction
A_f	Her bir kontrol hacmi yüzeylerinde oluşturulan alanların oranı
$u', v' \text{ ve } w'$	Kartezyen koordinatlardaki türbülans çalkantı hızları
g	Yer çekimi ivmesi
B	Kanal genişliği
A_x, A_y, A_z	Sırasıyla x, y, z yönlerinde akıma açılan kısmi alanları
f_x, f_y, f_z	Viskoz momentleri
E	Akımın özgül enerjisi
h	Akım derinliği

KISALTMALAR DİZİNİ

DSİ	Devlet Su İşleri
HAD	Hareketli Akışkanlar Dinamiği
VOF	Volume of Fluid
FAVOR	Fractonal area/volüme obstacle representation
TruVOF	Modified Volume of fluid
TRK	Taşkın rusübat kontrolü
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü



1. GİRİŞ

İnsanoğlu, dünyada var olduğu zamandan beri doğal kaynakları tüketirken, doğal dengeyi en çok etkileyen canlıdır. İnsanları kuraklığın etkisiyle göçe zorlayan çevre ve ekolojik sorunlardan bazıları da erozyon ve sellerdir. Toprağın üst katmanının; yanlış tarım faaliyetleri, sıcak-soğuk hava farkından dolayı çözünme sonucu, bitki örtüsünün tahrip edilmesi vb. sebepler nedeniyle harekete geçmesi olayına erozyon denir. Erozyon sonucu tarım arazileri verimsizleşir, yapılan su kontrol elemanlarının ömrü kısalır, kentlere göç artışı olur, sel sayıları artar. Yüksek eğimli alanlarda; yağmur ya da kar erimesinden dolayı yatağın taşıyacağı sudan fazla su gelmesi sonucu oluşan akıntılara sel denir. Sellerin birleşmesiyle, akışta olan suların iklim şartları, geoteknik özellikler ve coğrafya gibi sebeplerden ötürü yükselerek can ve mal kaybına sebep olma durumuna da taşkın denir. Taşkını sadece meteorolojik olaylara bağlamak yanlıştır. İnsan eli değen alanların çoğalması havzadaki doğal dengenin bozulmasına sebep olmuş ve bunun sonucunda taşkınlar daha şiddetli olmaya başlamış, can ve mal kaybı artmıştır. Taşkınların ne zaman nerede olabileceği sadece tahmin yürütülerek bilinebilir olduğu için tamamen önlenemez bir doğal afet değildir. Fakat taşkınların can ve mal kaybına sebep olmaması için, kontrol tesislerin düzgün işletilmesi, doğru planlama ve proje ile yapılması, akarsu yataklarına bilinçsizce müdahale edilmemesi ve taşkın tesislerin korunması ile taşkın doğal bir afet olmasının önüne geçilebilir.

Nüfusun hızlı ve dengesizce artmasına bağlı olarak yerleşim yeri ihtiyacı da hızla artmıştır. Kırsal kesimlerde geçim zorlaşmış ve buna bağlı olarak şehirlere göçler artmış tarım faaliyetleri azalmıştır. Hızlı şehirleşme sonucu yerleşim yeri alanları planlı ve düzenli bir çalışmaya olanak vermeden yayılmıştır. Plansız hızlı şehirleşmeden dolayı bilinçsizce ya da bilinçli yapılan inşaatlar sonucunda toprak; beton veya asfaltla kaplanmış bu da topraktaki sızma oranını düşürmüştür. Sızma oranının düşmesinin dışında ormanların tahrip edilmesi sonucunda heyelan olayları daha sık görülmeye başlamıştır. Bu konuda ABD'nin bir eyaletinde yapılan araştırmaya göre; orman içine yol yapılması sonucunda oluşan alanlarda, aynı koşullara sahip olan yol yapılmayan alanlara göre 315 kez fazla heyelan meydana gelmektedir (Hacısalıhoğlu). Dünyamızda ise sera gazlarının salınımı dolayısıyla başlayan küresel ısınma; iklim değişikliğine sebep olmuş bu olayda yağış rejimlerini değiştirmiştir. Nüfusun büyük bir bölümünün şehirlerde yaşaması sonucu hem küresel ısınma artmış hem de ekili biçili alanlar azaldığı için taşkınları ve erozyonu tetiklemiştir. İnsanların dere yataklarına yerleşim yerleri kurması ve dere yataklarının insani faaliyetlerden dolayı daraltılması sonucunda taşkınlarla mal ve can kayıpları artmıştır.

Türkiye coğrafi olarak ovalar ve dağlık alanlardan oluşmakta ve ortalama yüksekliği 1132 m'dir. Ortalama %60 topraklarımızın yamaç eğimi % 20 ve %90'ında ise %10 'dan fazla eğime sahiptir (Dinçsoy, 2008). Eğimin fazla olmasının sonucunda gelen suyun akış hızı artmakta bu olayda sürüklenme gücünü artırarak daha fazla heyelana ve yıkıma sebebiyet vermektedir. Ülkemizin en önemli sorunlarından olan erozyon sonucunda her yıl ortalama verimli toprakların 1 milyar tonunu ve ortalama 9 milyon ton bitki besin maddesini kaybetmekteyiz. Ayrıca erozyon ve taşkınlarla birlikte taşınan bitki besin maddeleri ve pestisitlerin su kaynakları (akarsular, göller ve denizler vb.) kirlenmesine sebep olmaktadır (DSİ TRK yazılımı ile rüsubat kontrolü 2017)

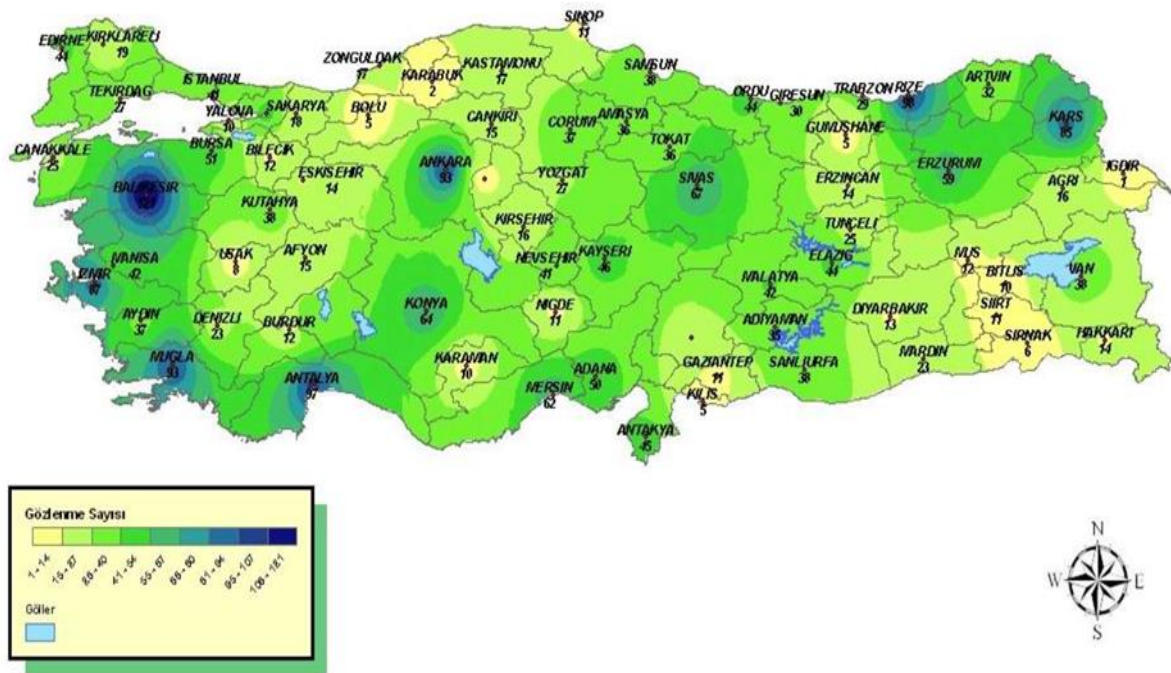
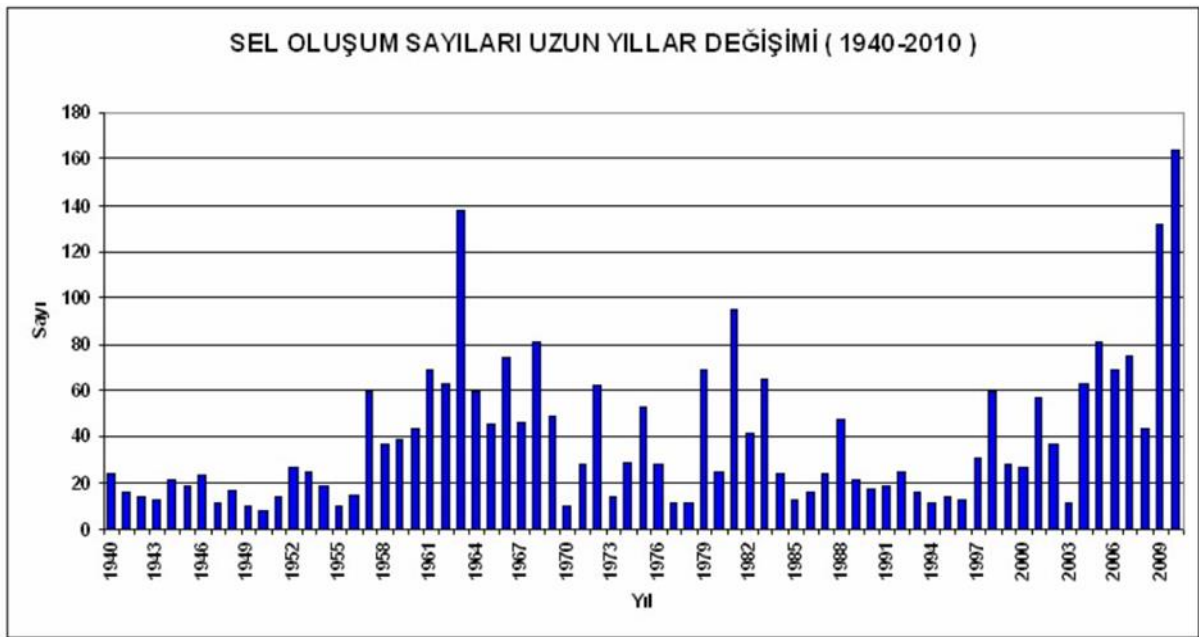
Dünya genelinde Avrupa Birliği ülkelerinde toplamda 25 milyon hektar arazi tahrip olurken, Ülkemizde ise yaklaşık 57.6 milyon hektar alan erozyona maruz kalmaktadır. Avrupa'nın yüz ölçümü ülkemizin yaklaşık 13 katıdır. (Dinçsoy, 2008). Bu değerler özellikle tarımın öne çıktığı ülkemiz için milli kayba sebep olmaktadır. Ayrıca yapılan her türlü sulama yapısının (tersip bendi, baraj vs.) yapımında, yapı ömrü hesaplanırken sediment birikim hesabı yapılmaktadır. Bu yapıların birçoğu sedimentle dolduğu zaman ya temizleme maliyeti ortaya çıkar ya da bir daha kullanılamaz. Bu durum ciddi ekonomik kayıplara neden olmaktadır.

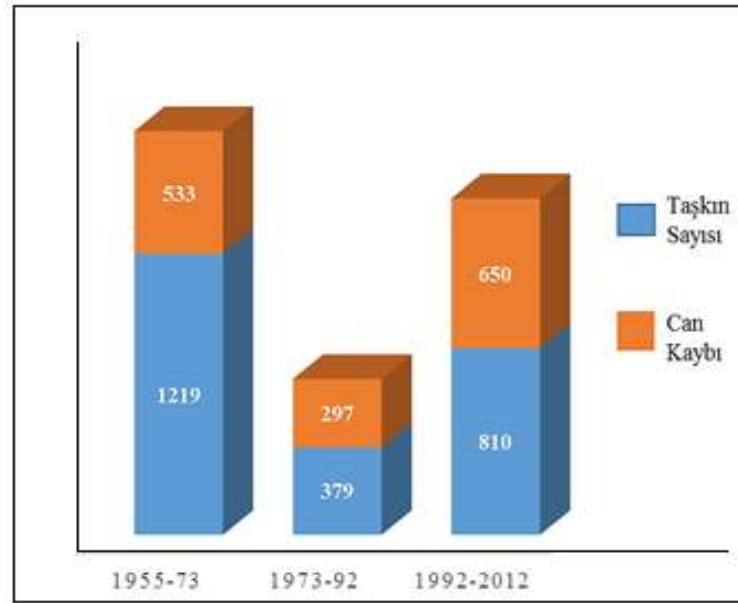
İnsanoğlunun doğaya verdiği zarar sonucunda doğada insana tepki olarak sel, taşkın, çığ, iklim değişikliği gibi tepkiler vermektedir. Oluşan kayıpları en aza indirmek için toprak kaynaklarımızı ve su kaynaklarımızı korumalı ve gelecek nesillere aktarmak için sürdürülebilirliğini sağlamalıyız.

1.1. Türkiye'nin Taşkın Afetleri Yönünden Durumu

Türkiye'de maddi zarar olarak depremlerden sonra gelen ikinci afet türü taşkın olayıdır. Mevcut kayıtlar incelendiğinde bakıldığında taşkınların sebep olduğu ekonomik zarar her yıl için ortalama 100,000,000 \$'a kadar ulaşmaktadır. Taşkınları önlemek ve kontrol amacı ile yapılan önlemlerin proje maliyetleri ise yılda 30,000,000 \$ kadardır (Kiliçer ve Özgüler, 2002). Taşkından korunmak için yapılan çalışmaların çoğu DSİ bünyesinde projelendirilmektedir. Projelendirilirken; taşkından etkilenebilecek kişi sayısı ve tesis sayısı baz alınır ve debi tekerrür aralığı bu değerlere göre belirlenir. Taşkın anında gelen suyun sürüklenme gücünde hesap edilerek buna bağlı olarak taşkın koruma yapıları ve taşkın koruma duvarları inşa edilmelidir.

Ülkemizdeki sel oluşumlarının uzun yıllar boyunca dağılımları Şekil 1.1'de verilmiştir. Türkiye'nin 1940-2010 yılları arasındaki taşkın tekerrür yoğunlukları ise Şekil 1.2'deki harita ile verilmiştir. 1955-2012 yılları arasındaki taşkın sayısı ve can kayıpları ise Şekil 1.3'te verilmiştir.





Şekil 1.3. 1955-2012 Arasında yaşanan taşkınlar ve can kayıpları (Kerim ve Sürme, 2019)

Türkiye’de taşkın koruma ve ıslah yapıları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Islah sekileri
- Tersip bentleri
- Taşkın kontrol duvarları
- Brit ve Şut yapıları

Ülkemiz eğim olarak yüksek bölgelere sahip olduğu için gelen suyun sürüklenme gücünün artmasıyla çok fazla rüsubat taşınımı olmaktadır. Taşkın koruma yapıları genelde rüsubatın aşağı bölgelere inmesini azaltmak, taşkın anında etkilenecek alanların güvenliğini sağlamak suyun hızını azaltmak ya da bölgede oluşan tahribatı ıslah etmek için yapılır. Örneğin; Taşkın koruma yapılarından olan Islah sekileri ve tersip bentleri yapı olarak benzese de kullanım amacı olarak birbirinden farklıdır. Islah sekileri isminden de anlaşılacağı üzere ıslah için yapılmaktadır. Dere yatağının bozulan yapısını tekrar düzeltmek, erozyonu azaltmak ve dere yan kısımlarının mukavemetini artırmak gibi sebeplerle yapılır. Yapıldıktan sonra belli miktarda su tutarak dere eğimini de düşürür. Ayrıca mansapta yapılan su kontrol elemanlarına da destek oluşturur (Dinçsoy, 2008). Akarsuyun akımını düzenlemek, taşkından korunmak, eğimi azaltmak gelen sedimenti geri tutmak gibi amaçlarla tersip bentleri inşa edilir. DSİ tarafından inşa edilmiş bir tersip bendi örneği Şekil 1.4’te verilmiştir.



Şekil 1.4. DSİ tarafından inşa edilmiş bir tersip bendi Artvin Yusufeli ilçesi Balalan Köyü (DSİ 26. Bölge Müdürlüğü Web Sitesi)

Bir başka taşkın koruma yapısı da taşkın kontrol duvarıdır. Taşkın kontrol duvarları yapılırken debi tekerrür aralığına bakılarak maksimum debi hesaplanır. Maksimum debi hesaplandıktan sonra manning formülü kullanılarak kanal için gerekli boyutlar bulunur. Bu kanallar yağış toplanma alanının başından itibaren yapılarak gelen taşkın suyunun güvenli bir şekilde yerleşim yerlerinden geçirilmesini sağlar. Bu yapılar sayesinde dere yatağı da korunmuş olur. Britler, şutlar ve taban kuşakları ise suyun aktığı eğimi azaltarak suyun sürüklenme gücünü düşürürler. Bu sayede suyun hızı ve sürüklenme gücü azalır.

En önemli ve maliyeti diğerlerine oranla daha yüksek olan taşkın kontrol yapısı tersip bendidir. Klasik tersip bentleri her boyutta rüsubatın tutulmasını ve belirli miktarda suyun depolanmasını sağlar. Ayrıca gelen suyun hızını düşürerek yatak stabilitesini korur. Klasik tersip bentleri memba da oluşan erozyon sonucunda mansap kısmına çok fazla rusubat gitmesini engeller. Yukarı havza kontrol önlemleri arasında yapılan taşkın koruma şeklidir.

1.2. Tersip Bentleri:

Genelde yapılan tersip bentleri gelen rüsubatın hacmi hesaplanarak 50 yıllık projelendirilir. 50 yıl sonunda dolacağı düşünülür. Dolduktan sonra temizlenebilir, fakat temizlenmezse ömrü dolmuş olur. Tersip bentleri yapıldıkları malzemeye göre dörde, depoladıkları malzemeye göre ikiye ayrılır (Dinçsoy,2008).

Çizelge 1.1. Tersip bendi türleri

Yapıldıkları malzemeye göre	Depoladıkları malzemeye göre
Kargir, Beton ve Betonarme Tersip Bentleri	Klasik tersip bentleri
Toprak Seddeli Tersip Bentleri	Geçirimli tersip bentleri
Toprak Dolgu Gövdeli Tersip Bentleri	
Fildöfer Tersip Bentleri	

1.2.1. Yapıldıkları malzemeye göre

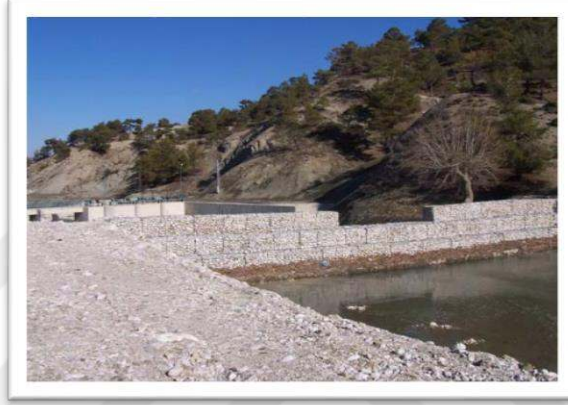
Yapıldıkları malzemeye göre tersip bentleri dörde ayrılır. Bunlardan ilki kargir tersip bentleridir (Şekil 1.5a). Aks yerinin dar olduğu arazilerde tercih edilmektedir. Genellikle bendin tamamı maliyet düşünülerek kargir yapılmaktadır. Fakat taş ve gerekli malzemenin bulunmadığı yerlerde maliyeti düşürmek için beton, betonarme yapılar da yapılabilir. Beton veya betonarme yapılarda dolusavak kaplamasının aşınmaya karşı taş olmasına dikkat edilmelidir (Dinçsoy, 2008). Toprak Seddeli Tersip Bentlerinin yapımı ise açıklığın fazla olduğu yerlerde yapı maliyetinin düşürülmesi için yapı toprak sedde olarak projelendirilir (Şekil 1.5b). Suyun temas ettiği toprak kısımları aşındırmaması ve dayanımın artması için bu kısımlar kâgir ya da beton olarak yapılmaktadır (dolusavak enerji kırıcı vs.). Toprak Dolgu Gövdeli Tersip Bentlerinde ise gövde kısmı topraktır. Suyun akışı kenar kısımlarından ya da orta kısımdan yapılan dolusavak ile sağlanır. Dolusavak kısmı genelde taş veya beton malzemedan imal edilmektedir. Rezervuarlarda depolanan su, barbakan ve dip savaklar yardımı ile kısa sürede boşaltıldığı için seddelerin geçirimsiz veya yarı geçirimli olarak yapılması yeterli olmaktadır (Dinçsoy, 2008). Fildöfer Tersip Bentleri inşaatı için yeterli malzemenin bulunmadığı yerlerde gabion kafeslerin içine taş doldurulmasıyla yapılan tersip bentleridir (Şekil 1.5c). Bakım ve onarım maliyeti fazla olduğundan çok tercih edilen bir yapı değildir (Dinçsoy, 2008).



(a)



(b)



(c)

Şekil 1.5. a) Düşü havuzlu kagir bir tersip bendi Kırıkkale-Hasandede kasabası Kale dere, **b)** Toprak dolgu gövdeli tersip bendi, Isparta, **c)** Fildöfer bir tersip bendi Antalya-Elmalı Koçaçay (Dinçsoy, 2008).

1.2.2. Depoladıkları Malzemeye Göre

Depoladıkları malzemeye göre ayırım yapılan tersip bentleri klasik tersip bentleri ve geçirimli tersip bentleri olarak ikiye ayrılır. Klasik tersip bentleri tüm malzemeyi depolarken geçirimli tersip bentleri ince malzemenin geçmesini sağlarken taş kaya ağaç parçası gibi büyük malzemelerin tutulmasını sağlar.

1.3. Geçirgen/Süzücü/Geçirimli Tersip Bentleri

Akarsu havzalarında doğal dengenin korunmasına yardımcı olmak için bazı yerlerde klasik tersip bentleri yeterli olmamaktadır. Mansap kısmında ince malzemenin gerekmesi durumunda bu alanlarda (mansapta oyulma vs. gibi durumlarda), geçirimli tersip bendi yapılır.

Geçirimli tersip bentleri yatay ve dikey açıklıklı olarak yapılarak kaba malzemenin filtre edilmesi sağlanır. Kaba malzeme, mansapta bulunan köprü menfez gibi su yapılarını tıkayacağı için membada önlem alınarak mansap kısmı korunmuş olur. Özellikle ülkemizde Karadeniz gibi ormanlık ve heyelanlı bölgede yapılan geçirgen tersip bentleri, ağaç parçalarını ya da büyük kaya parçalarını mansaba gitmeden tutar. Bu tersip bentleri inşa edilirken çarpmadan kaynaklı dinamik yük hesabı yapılır. Gövdeye gelen basınç hesaplanarak inşa edilen tersip bentlerinin gövdesinin hesabı da dolu gövde olarak hesaplanır çünkü gelen maddelerin tersip bendini tıkadığı ve tersip bendinin dolu gövdeli olarak çalıştığı düşünülür. Bu tersip bentleri doldukça temizlenir. Balık geçidine gerek olmadığı için balık geçişlerine engel teşkil etmez, ekosistem korunmuş olur. Taşkın sırasında akış hızını azaltarak taşkın etkisinin azalmasını sağlar. Yan duvarları sayesinde ıslah etkisi de vardır. Farklı türlerde inşa edilmiş geçirimli tersip bentleri Şekil 1.6(a-f)'de verilmiştir.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 1.6. a) Odunsu taşıntıyı tutan ve sel suyu miktarını ayarlayan süzücü yapılar, **b)** Yatak yükünün ayıklanması ve sel suyu miktarını ayarlayan süzücü bent, **c)** Kaba rüsubat tutma ve enerji kırma işlevi gören süzücü bentler, **d)** Ayaklı süzücü bent tipi, **e)** Ayaklı ve ızgaralı süzücü bent tipi, **f)** Dip açıklıklı süzücü bent tipi (Çelik vd. 2017).

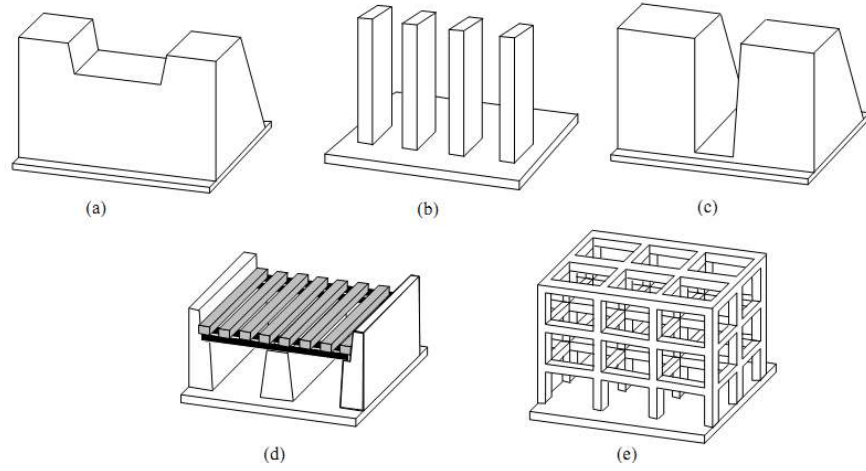
1.4. Önceki Çalışmalar

Proje konusuyla ilgili literatür özeti şu şekilde verilmiştir:

Armanini ve Larcher (2001), geçirimli tersip bendi tasarımına ve tasarımda karşılaşılabilecek problemlere, teorik bir yaklaşım sunmayı amaçlamaktadır. Makalede sunulan yaklaşım, kararlı akım koşullarında mevcut olan su ve katı madde kütesinin, enerji dengesini sağlayacak biçimde tasarlanıp bu dengenin korunması amaçlanmıştır. Çalışmada sonuç olarak, deneylerden elde edilen veriler ışığında, tersip bentlerinde açıklığın geniş veya dar olma durumuna göre akımın kritik olup olmadığının değiştiği gözlemlenmiş ve bentler arasında bulunan açıklığın kararlı halde olması için bağıntılar sunulmuştur.

Busnelli vd. (2001), deneysel verilere sahip olunan bir tersip bendinin bir boyutlu sayısal morfolojik modellemesini gerçekleştirmiştir. Uygulanan sayısal modelde, kullanılması uygun bir kütle ve momentum dengesi ile birlikte klasik olarak bilinen, üst üste birbirine paralel olarak dizilmiş kademeli ızgaralar ve örtük bütünleşme şemaları kullanılmıştır. Sayısal modelin deney sonuçlarıyla yapılan karşılaştırmasında da uyumlu veriler elde edilmiştir.

Uygulamadaki farklı tipteki geçirimli tersip bentleri Lien (2003) tarafından Şekil 1.7’de verilmiştir.



Şekil 1.7. Farklı tiplerdeki geçirgen tersip bentleri (Lien, 2003)

Catella vd. (2005), İtalya’da bulunan Versilia Vadisinin dağ bölgesinde inşa edilmiş olan tersip bentlerinin verimliliği araştırılmıştır. Mevcut alanın hidrolojik, topoğrafik ve sedimentolojik olarak detaylı incelenmesinden sonra mevcut tersip bentlerin verimi, büyük taşkınlar sırasında çökme oluşumu ve uzun vadeli sediment taşınım etkileri göz önüne alınarak analiz edilmiştir. Gerçekleştirilen analizden elde edilen verilere göre, var olan tersip bentlerinin sediment tutma kapasiteleri, küçük taşkın debilerinde, teorik olarak önceden tahmin edilen verilerle uyum içinde olduğu gözlemlenmiştir.

Shrestha vd. (2012), nehirlerde su akımı tarafından taşınılan büyük ölçekli kütlelerin, örneğin; molozların, birikme süreci sayısal model simülasyonları ve kanal deneyleri kullanılarak incelenmiştir. Araştırmada, sayısal model geliştirilirken, kütle akışının Euleryen ifadesi ile akımın getirdiği molozların Lagrangian ifadesinin etkileşimli bir kombinasyonu birlikte kullanılmıştır. Makalede, deneysel ortamdan elde edilen bulgular ile sayısal modelleme de elde edilen verilerin (molozların pozisyonları ve yönelimleri) birbiriyle uyumlu sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Campisano vd. (2014), tersip bentlerinin tasarımında kullanılan hipotezler hakkında bilgilere yer verilmiştir. Çalışmada, tersip bentlerinden geçen kararsız akım 1 boyutlu olarak simüle edilerek bir yaklaşım sunulmuştur. Sayısal modelden elde edilen veriler aynı zamanda literatürdeki diğer çalışmalardan elde edilen deneysel verilerle de kıyaslanarak modelin doğruluğu karşılaştırılmıştır.

Piton ve Recking (2015), sediment biriktirme amacıyla inşa edilen tersip bentlerinin tasarım literatürünü incelemiştir. Üç kısım olarak planlanan çalışmanın ilki olan bu makalede, tersip bentlerin genel işlevleri ve yapılma sebepleri hakkında bilgiler verilmektedir. Kapsamlı

olarak tersip bentlerinin üzerinde duran bu takım makaleler konu hakkında kapsamlı tasarım, amaç ve işlev hakkında bilgiler sunmaktadır.

Piton ve Recking (2015), bir önceki makalenin devamı niteliğinde olan makalede, literatürde bulunan çalışmalar incelenerek ortaya çıkmış tersip bentlerinin tasarımı hakkında bilgi vermektedir. Çalışmada ayrıca, sedimentasyon taşınımı ile ilgili hidrolik ve sedimentasyon birikim süreç durumları incelenmiştir. Bunlara ilaveten büyük ölçekli katı madde taşınımı (ağaç, kaya, vb.) sonucu bentlerin davranışları da irdelenmiştir.

Kerim ve Sürme (2019), ülkemizi de etkileyen küresel ısınma sonucu iklim değişiklikleri meydana geldiğini tespit ederek, iklim değişiklikleri sonucunda taşkınların meydana gelme sayılarında artış olduğunu belirtmiştir. Taşkınlar, taşkın koruma ve kontrol yapıları hakkında bilgi verilmiştir. Taşkın koruma uygulamaları yapılan Rize bölgesinden örnekler verilmiştir. Çalışmada, taşkın koruma projelerinin yapılarak, can ve mal kayıplarını engellenebileceği belirtilmiştir. Fakat yapılan bazı yapıların doğal hayatı olumsuz yönde etkilediği ve yapılan projelerin doğal hayatı en az etkileyecek şekilde yapılması için bazı önerelerde bulunmuştur

Akçalı (2018), ülkemizde yeni yeni uygulanmaya başlanan taşkın ve rüsubat kontrol sistemleri hakkında bilgiler vermiştir. Yakın bir zaman içerisinde çalışmada anlatılan sistemlerin, havzalarda yapılacak olan çalışmalara ve arazinin yapısına uygun olarak uygulanabileceğini belirtmiştir. Ayrıca havza yapısının, bileşenlerini ve işletme koşullarını dikkatli bir şekilde belirlenmesi ve buna uygun olarak tesis tipinin seçilmesine gerektiği belirtmiştir.

1.4. Çalışmanın Amacı

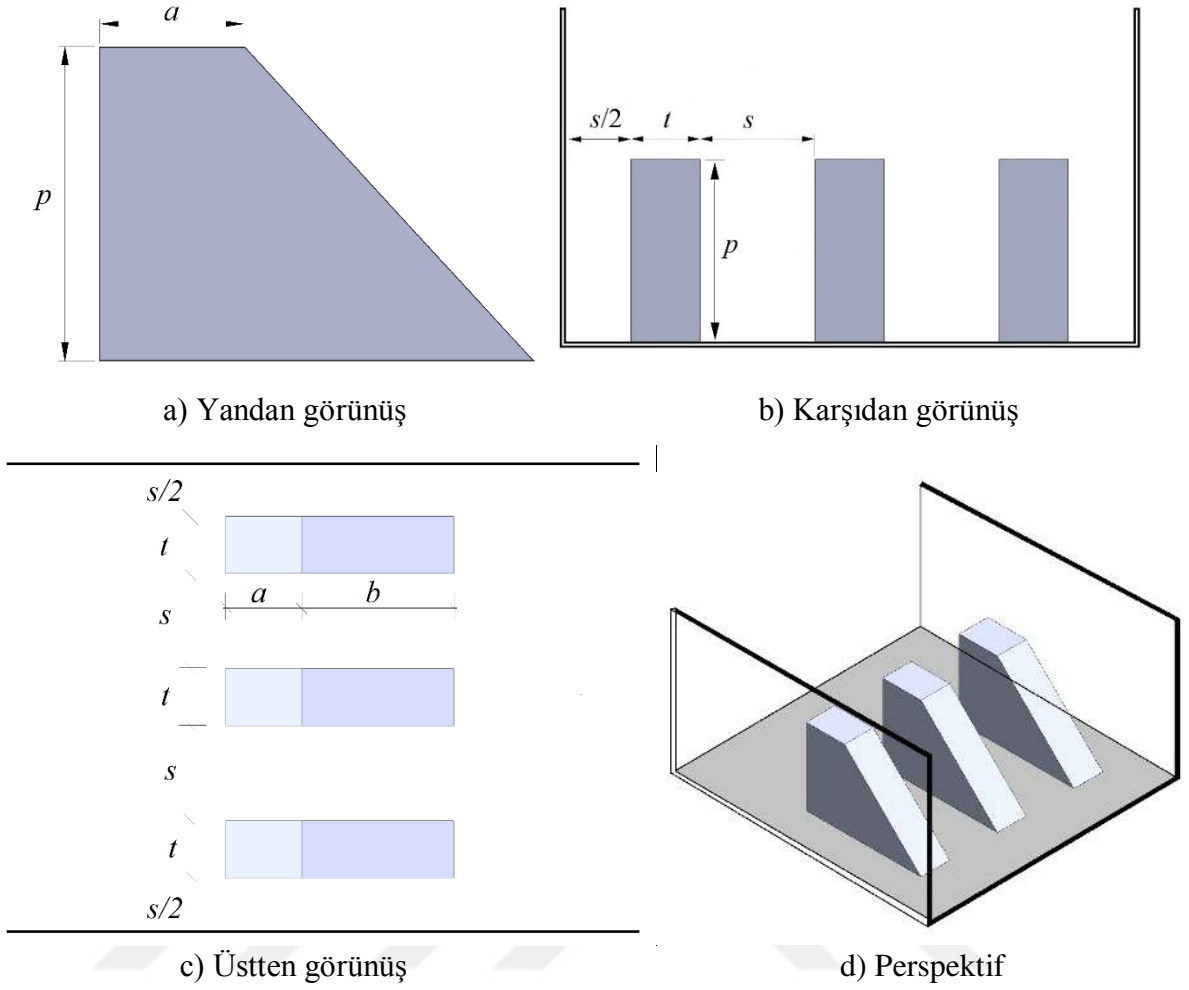
Bu tezin amacı; farklı boyutlardaki geçirimli tersip bentlerinin farklı akım koşulları altındaki hidrolik davranışını incelemektir. Elde edilen sonuçlar ışığında bazı tasarım ilkeleri belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla deneysel ve sayısal model çalışmaları yürütülmüştür. Nehir rejimi akımın farklı debiler için hidrolik özellikleri incelenmiş, özgül enerjinin, debi ve su derinliğiyle değişimi, enerji kayıpları belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca elde edilen sonuçların akım daralmasına yol açacağı kritik derinlik ve minimum özgül enerji koşullarına uygunluğu da analiz edilecektir. Tez konusu kapsamında yürütülecek bu çalışmada katı madde taşınımı ve oyulma durumu üzerinde durulmamış, sadece geçirgen tersip betleri üzerindeki akım hidroliği analiz edilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tezde geçirimli tersip bentlerinin içinde bulundukları açık kanal akımları üzerindeki hidrodinamik analizlerini yapabilmek için iki farklı yöntem kullanılmıştır. Bunlardan ilki hidrolik model çalışması, ikincisi ise Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemidir. Deneysel çalışmalardan elde edilecek sonuçlar aynı zamanda model ölçeğinde hazırlanan sayısal modellerin doğrulanması için kullanılmıştır. Daha sonra gerçek (prototip) ölçeğindeki sayısal modeller HAD analizlerine tabi tutularak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

2.1. Hidrolik Model Çalışmaları

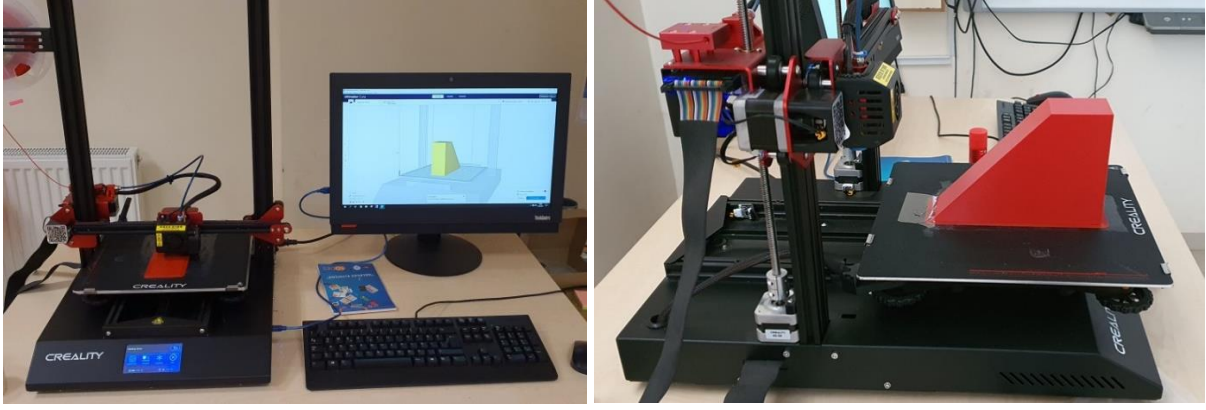
Belirlenen farklı geometrilerdeki bloklar açık kanal boyunca belirli aralıklarda sıralanarak, farklı debi ve Froude sayıları için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deney kanalı 400 cm uzunluğunda, 40 cm genişliğinde ve 30 cm yüksekliğinde doğrusal bir dikdörtgen açık kanaldan oluşmaktadır (Şekil 2.1). Deney düzeneğinin taşıyıcı elemanları çelik profil ve levhalardan oluşmaktadır. Deneylerin daha rahat gözlemlenebilmesi için kanal yan duvarları pleksiglastan imal edilmiştir. Kanaldaki suyu devir-daim yapmak için kanal başına ve sonuna iki adet su haznesi yerleştirilmiştir. Hazne-1'in içerisine sakinleştirici ızgaralar bırakılmış, böylelikle kanal girişindeki akım düzenli hale getirilmiştir. Kanal düzeneğindeki suyun devir – daimi için 2.5 inç giriş, 2.0 inç çıkışlı 50 – 1300 L/dak kapasiteli bir pompa kullanılmıştır. Kanal debisi Hazne-2 çıkışına ve Hazne-1 girişine yerleştirilmiş iki adet ayarlı vana ile kontrol edilmektedir. Debiyi ölçmek için pompa ile giriş vanası arasında $\pm \%0.5$ hassasiyetli RSTLD-500-3 model elektromanyetik debimetre kullanılmıştır. Farklı eğimlerde çalışılabilmesi için kanal başlangıcı bir mafsalla Hazne-1'e bağlanmış ve ayarlanabilir ayak sayesinde kanal eğiminin hassas bir şekilde ayarlanması sağlanmıştır. Deney düzeneğine ait görüntüler Şekil 2.2'de verilmiştir. Deneysel ve sayısal çalışmalarda kullanılan blok türleri ve boyut parametreleri Şekil 2.3'de, teste tabi tutulan blok boyutları ise Tablo 2.1'de verilmiştir. Farklı boyutlardaki bu bloklar sayısal ortamda katı model olarak elde edildikten sonra 3B yazıcı kullanılarak üretilmiştir (Şekil 2.4). Deneyler $Q = 2.78 - 13.89$ L/s aralığında debi değerleri ve $J = 0 - 0.005$ aralığı için yürütülmüştür. Su yüzü profillerini belirlemek için kanal içerisinde blokların 50 cm membasından, 230 cm mansabı boyunca 10 cm aralıklarla su derinlikleri ölçülmüştür. Mansap su seviyesi ayarlı bir eşikle kontrol edilmiştir.



Şekil 2.3. Geçirimli tersip bendi bloklarının görüntüsü

Çizelge 2.1. Deney parametreleri

<i>Blok</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>p</i>	<i>s</i>	<i>t</i>	<i>t/s</i>	<i>Q</i>	<i>J</i>
<i>Tipi</i>	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(-)	(L/s)	(-)
Tip-1	6.67	13.33	13.33	8.33	5.00	0.6	2.78 – 13.89	0 – 0.005
Tip-2	6.67	13.33	13.33	7.40	5.92	0.8	2.78 – 13.89	0 – 0.005
Tip-3	6.67	13.33	13.33	6.67	6.67	1.0	2.78 – 13.89	0 – 0.005



Şekil 2.4. 3B yazıcı yardımıyla deney bloklarını üretimi

2.1.2. Boyut Analizi

Hidrolik model çalışmalarında olaya etkili büyüklüklerin belirlenmesi, boyutsuzlaştırılması, hakim parametreler arasındaki fiziksel bağıntıların kurulması, model-prototip benzeşiminin yapılması gibi işlemler için boyut analizinin yapılmasında fayda vardır. Detayları yukarıda verilen hidrolik model deneyi çalışmalarında geometri ve akımla ilgili etkili olabilecek parametreler aşağıdaki denklemle verilebilir.

$$f(a, b, p, s, t, J, B, L, n, h, V, \rho, \sigma, \nu, g) = 0 \quad (2.1)$$

Burada blok geometrisi ile ilgili, a , b , p , s ve t parametreleri Şekil 2.3'te tanımlandığı gibidir. Bunların dışında geometrik parametreler olarak, J = kanal eğimi (-), B = kanal genişliği (m), $L = (a + b)$ ve n = kanal içindeki blok sayısıdır. Akım karakteristikleri olarak ise V = ortalama akım hızı (m/s), akışkana ait özellikler ρ = suyun yoğunluğu (kg/m³), σ = yüzey gerilimi (N/m), ν = kinematik viskozite (m/s²) ve g = yerçekimi ivmesi (m/s²) olarak tanımlanır. Bu boyutlu parametreler boyut analizi yöntemleriyle boyutsuzlaştırılırsa aşağıdaki boyutsuz büyüklükler cinsinden yeni bir fonksiyon aşağıdaki gibi elde edilebilir.

$$f\left(\frac{a}{L}, \frac{p}{h}, \frac{t}{s}, \frac{n \cdot t}{B}, J, \frac{n \cdot s}{B}, Fr = \frac{V}{\sqrt{gh}}, Re = \frac{VR}{\nu}, W = \frac{V}{\sqrt{\rho L / \sigma}}\right) = 0 \quad (2.2)$$

Deneysel çalışmalarda a ve L parametreleri sabit olduğundan ve akıma etkisinin kısıtlı olacağından a/L denklemden çıkartılabilir. Yine t ve s parametreleri B 'ye bağlı olarak birbirinden türetilebileceğinden nt/B ve ns/B boyutsuz parametrelerden biri denklemden çıkartılabilir. Diğer

tarafından birim genişlik için analizler yapılacağından bu iki parametrenin yerine t/s boyutsuz parametresi kullanılabilir. Ayrıca p/h ile t/s boyutsuz parametrelerin çarpımı olan $(p.t)/(h.s)$ birim genişlik için blokların akıma dik yüzey alanının akım alanına oranını temsil edecektir. Bu boyutsuz parametre özellikle blokların akıma gösterdiği direnç üzerinde etkili olacaktır. Akım ile ilgili olarak ise Fr : atalet kuvvetlerinin, yerçekimi kuvvetlerine oranını temsil eden Froude sayısını, Re : atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlerine oranını temsil eden Reynolds sayısını, W : yüzey gerilimi etkilerini temsil eden Weber sayısını göstermektedir. Açık kanal akımlarda atalet kuvvetleriyle birlikte yerçekimi kuvvetleri etkili olacağından buradaki etkin parametre Froude sayısıdır. Akım türbülanslı ve yüksek Reynolds sayıları için viskoz gerilmeler ihmal edilebilir. Diğer taraftan bloklar arası mesafe çok dar olmadığına ($s > 3$ cm) yüzey gerilimi kuvvetlerinin de ihmal edilebilir. Blokların akıma olan dirençleri C_d (*Drag Coefficient*) ile ifade edilebilir. Bu durumda model çalışmasındaki hakim boyutsuz parametreler aşağıdaki denklemdeki gibi verilebilir.

$$f\left(\frac{p}{h}, \frac{t}{s}, J, Fr, C_d\right) = 0 \text{ veya } f\left(\frac{p \cdot t}{h \cdot s}, J, Fr, C_d\right) = 0 \quad (2.3)$$

Tablo 2.1’de üç farklı blok tipi için verilen değişkenler ile deneyler yapılmış ve boyut analizinin uygulanmasıyla Denklem (2.3)’teki boyutsuz parametreler elde edilmiştir. Bu parametrelere bağlı olarak akımın davranışı çeşitli bağıntı ve grafiklerle analiz edilmiştir.

2.2. Sayısal Model Çalışması

Akışkanlar mekaniği ve hidrolik problemlerin analizlerinde geleneksel olarak kullanılan analitik ve deneysel yöntemlerin yanında son yıllarda yaygın olarak kullanılmaya başlayan diğer bir yöntem Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD)’dir. Akışkan akımlarının hareket denklemlerinin analitik olarak gerçekçi çözülmesindeki zorluklar karmaşık akımların analizi için araştırmacıları 19yy’dan beri fiziksel deneylere yönlendirmiştir. 21 yy’ın başlarından itibaren gelişen sayısal analiz yöntemleri ve yüksek çözüm kapasiteli bilgisayarlarla birlikte, analitik olarak çözülmesi zor olan akış denklemlerinin çözülmesine olanak sağlamıştır. Bu yöntem ve tekniklerin birleşmesiyle günümüzde karmaşık akım problemlerini bile yeterince bir doğrulukta modelleyebilen HAD yazılımları ortaya çıkmıştır. Günümüzde artık kabul gören bu alan çalışanların her seferinde yeni yazılım kodları hazırlaması yerine mevcut hazır paket programları kullanarak modellerinin analiz edilmesi veya bu programlar içinde küçük kotlar yazarak mevcut

yöntemlerin gelişmesine katkı sağlamak, şeklindedir. Günümüzde en yaygın olarak kullanılan HAD yazılımlarından biri de FLOW-3D paket yazılımıdır. Bu yazılım özellikle serbest yüzeyli akımların modellenmesindeki başarısıyla bilinmektedir. Bu tezde sayısal modeller için FLOW-3D HAD yazılımı tercih edilmiştir. Bu yazılım sayesinde 3 boyutlu (3B) gerçek ve türbülanslı akımlar modellenebilmektedir. HAD yazılımları akışkan hareketini modellemek için aşağıda verilen akışkanın temel bünye denklemlerini çözer. Bu denklemleri çözmek için sonlu hacimler, sonlu elemanlar ve sonlu farklar gibi yöntemlerden birini kullanır. Üç boyutlu bir akışın momentum denklemleri (Navier-Stokes Denklemleri);

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left[u A_x \frac{\partial u}{\partial x} + v A_y \frac{\partial u}{\partial y} + w A_z \frac{\partial u}{\partial z} \right] &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + G_x + f_x \\ \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left[u A_x \frac{\partial v}{\partial x} + v A_y \frac{\partial v}{\partial y} + w A_z \frac{\partial v}{\partial z} \right] &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + G_y + f_y \\ \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left[u A_x \frac{\partial w}{\partial x} + v A_y \frac{\partial w}{\partial y} + w A_z \frac{\partial w}{\partial z} \right] &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + G_z + f_z\end{aligned}\quad (2.4)$$

Süreklilik denklemi ise;

$$\frac{\partial}{\partial x}(u A_x) + \frac{\partial}{\partial y}(v A_y) + \frac{\partial}{\partial z}(w A_z) = 0 \quad (2.5)$$

ile ifade edilebilir. Buradaki, ρ : akışkan yoğunluğunu, t : zamanı, A_x, A_y, A_z : Sırasıyla x, y, z yönlerinde akıma açılan kısmi alanları, u, v, w : sırasıyla x, y, z yönlerindeki hız bileşenleri, V_F : akıma açılan hacim oranı, f_x, f_y, f_z : viskoz momentleri ifade etmektedir. Özellikle açık kanal akımları gibi akımlarda serbest yüzeyi tanımlamak için tanımlanan VOF (*Volume of Fluid*) metot kullanılır. Kartezyen koordinatlar için VOF formülasyonu Hirt ve Nicholas (1981) tarafından aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left[\frac{\partial}{\partial x}(F A_x u) + \frac{\partial}{\partial y}(F A_y v) + \frac{\partial}{\partial z}(F A_z w) \right] = 0 \quad (2.6)$$

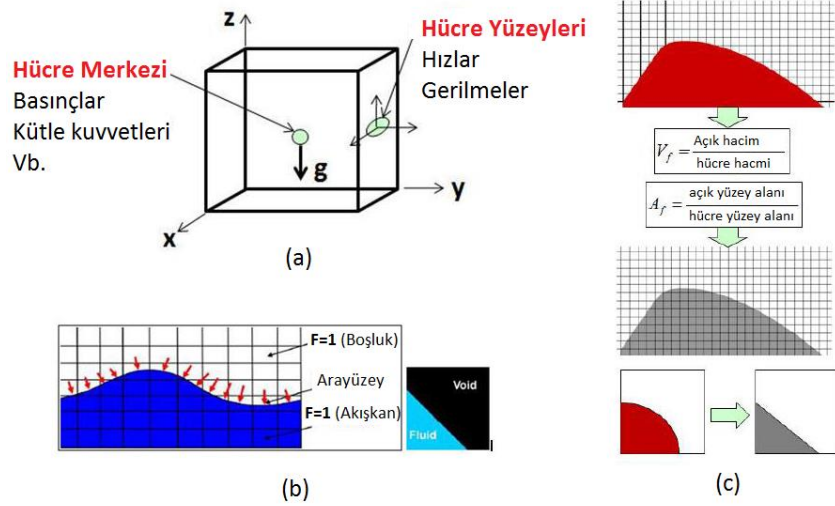
Buradaki F tek bir akışkan fazı için akışkanın doldurduğu hacim oranını ifade eder. Bir hesap hücresi akışkanla tam dolu olduğunda $F=1$, boş olduğunda $F=0$ ve hücre içinde bir yüzey olduğunda (kısmen dolu kısmen boş) $0 < F < 1$ değerlerini alır.

Sayısal analizler öncelikle deneysel çalışmalar için üretilmiş geometriler için yürütülecektir. Bu amaçla sayısal ortamda deneysel çalışmalar için hazırlanmış katı modellerin aynısı FLOW-3D yazılımına aktararak birebir aynı geometrilerde analizler yürütülmüştür. Böylelikle deneysel ve sayısal modeller mükemmel bir uyumla modellenerek sayısal modeller için doğru bir karşılaştırma yapılmıştır. Bu boyuttaki deneysel ve sayısal çalışmalar sayesinde kullanılan sayısal yöntemin doğrulaması yapıldığı gibi her iki yöntem sonuçları birlikte değerlendirilerek daha sağlıklı sonuçlar elde edilmiştir. Laboratuvar ölçeğindeki çalışmalar dışında sayısal modelin avantajları kullanılarak gerçek (prototip) ölçeğinde de analizler gerçekleştirilmiştir. Böylece bu tür hidrolik yapıların ölçek etkilerinden arınmış gerçek boyutlarındaki davranışlarının da incelenmesine olanak sağlanmıştır.

2.2.1. True VOF Yöntemi

Flow 3D yazılımı standart olarak yapılandırılmış ortogonal ağ yapısı kullanmaktadır. Akışkana ait büyüklükler kontrol hacminin merkezinde, vektörel büyüklükler ise kontrol hacminin yüzeyinde tanımlanmaktadır (Şekil 2.5a). Diğer yazılımlardan farklı olarak, geometri tanımlanmasında FAVOR (*Fractional Area/Volume Obstacle Representation*), serbest yüzey tanımlamasında da ise TruVOF (*Modified Volume of Fluid*) teknikleri kullanılmaktadır. FAVOR yönteminde, verilen bir kontrol hacmi içerisinde katı modelin kapladığı hacmin oranı (V_f : *volume fraction*) ve katı hacmin her bir kontrol hacmi yüzeylerinde oluşturduğu alanların oranı (A_f) şeklinde iki farklı parametre hesaplanmaktadır (Şekil 2.5c). Hücre tamamen katı ile dolu ise hacim oranı sıfır, tamamen boş ise 1 değerine eşittir. Eğer bir hücrenin bir kısmı dolu bir kısmı boş ise hacim oranı hücrede kapladığı hacim yüzdesine bağlı olarak 0 ile 1 arasında bir değer alır. Bu oran aslında her bir hücrenin ne oranda akışkanla dolu olduğunu göstermektedir (Flow-Science, 2016).

Serbest yüzeyli akımlarda akışkan fazları arasındaki ara yüzeyi (serbest yüzeyi) tanımlamak için modifiye edilmiş akışkan hacmi (TruVOF) yöntemi önerilmektedir (Şekil 2.5b). FAVOR yöntemine benzer olarak hacim oranları (*Volume fraction*) akıma açık hücrelerin ne oranda dolu olduğunu tanımlamaktadır. Yukarıda verilen genel VOF tanımlamasına benzer olarak hücre tamamen akışkanla dolu ise hacim oranı $F=1$, boş ise $F=0$ ve akışkan kısmen doluyorsa (bir ara yüzey içeriyorsa) $0 < F < 1$ değerlerini alır. (Flow-Science, 2016).



Şekil 2.5. Flow-3D'nin sayısal model kavramları: a) Hücre yapısı, b) Akışkan yüzey (TruVOF) konsepti, c) FAVOR yöntemi

2.2.2. Türbülans Model

Sayısal modeller türbülanslı akım durumuna göre analizler gerçekleştirilmiştir. Bunun için iki parametrelili türbülans modellerinden biri olan $k-\varepsilon$ türbülans modeli kullanılmıştır. Bu modelde türbülans kinetik enerji (k) ve yayılım oranı (ε) için iki farklı taşınım denklemi çözülür. Türbülans çalkantı hızlarını temsil eden türbülans kinetik enerji aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$k = \frac{1}{2} (\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2}) \quad (2.7)$$

Burdaki; u' , v' ve w' Kartezyen koordinatlardaki türbülans çalkantı hızlarını ifade eder. Bu denkleme ek olarak türbülans yayılım oranı için aşağıdaki denklemi çözer.

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left[u A_x \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + v A_y \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} + w A_z \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right] = \frac{C_1 \varepsilon}{k} (P_T + C_3 G_T) + D_\varepsilon - C_2 \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (2.8)$$

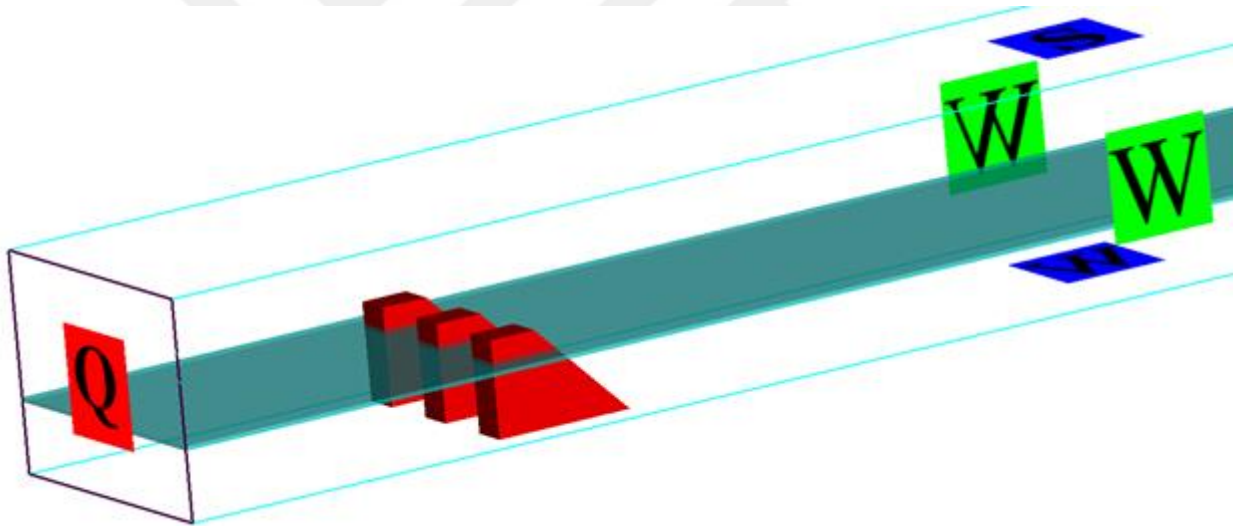
Buradaki C_1 , C_2 ve C_3 kullanıcı tanımlı parametreler olup varsayılan olarak sırasıyla 1.44, 1.92 ve 0.2 alınabileceği önerilmektedir. P_T türbülans kinetik enerji üretimi, G_T ise batmazlık üretim terimidir. Türbülans yayılımının taşınım D_ε denklemi aşağıdaki gibi verilir:

$$D_\varepsilon = \frac{1}{V_F} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\vartheta_\varepsilon A_x \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\vartheta_\varepsilon A_y \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\vartheta_\varepsilon A_z \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right) \right] \quad (6)$$

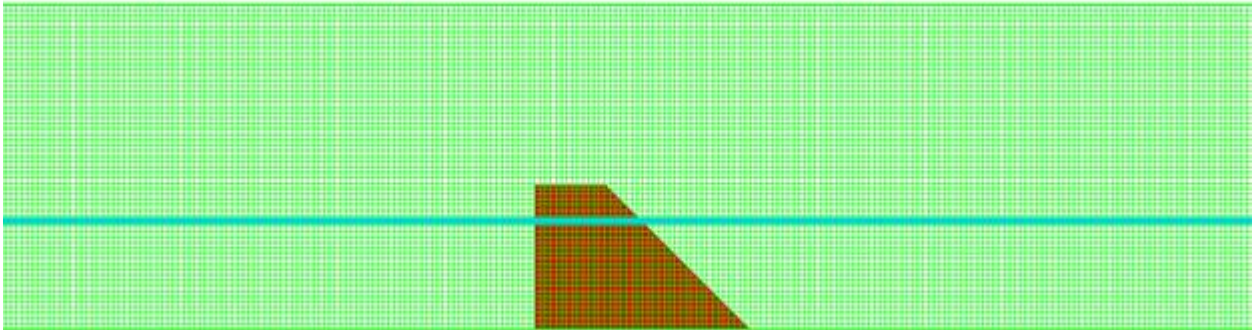
Buradaki, ν_e türbülans viskozitesinin lokal değerine bağlı bir taşınım katsayısıdır (Flow-Science, 2019).

2.2.3. Sayısal modelin sınır koşulları ve meş yapısı

FLOW-3D için hazırlanan sayısal modellerin sınır koşulları ve meş yapısı Şekil 2.6'da verilmektedir. Buna göre kanalın girişi debi girişi (*Volume Flow Rate*)(Q) sağ ve sol kenarlar ile taban duvar (*Wall*), kanal üstü simetri (*Symmetry*), çıkış ucu ise basınç çıkışı (*pressure outlet*) sınır koşulu olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2.6a). FLOW-3D meş yapısı olarak dikdörtgen yapısal meş (*Hexahedral*) kullanmaktadır. Bu meş yapısı çarpıklık ve meş kalitesi olarak mükemmel olduğundan çözümlerde meş kalitesinden kaynaklı yakınsama ve sayısal hatalar oluşmamaktadır. Ancak üniform meş yapısı nedeniyle katı elemanları yüksek çözünürlükte algılayabilmesi için (FAVOR) çok daha fazla meş elemanı dolayısıyla sayısal zamana ihtiyaç duymaktadır.



(a) Sınır koşulları



(b) Meş yapısı

Şekil 2.6. Sayısal modelin sınır koşulları ve ağ yapısı

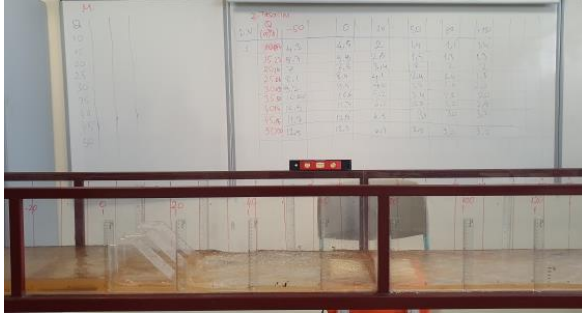
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında geçirimli tersip bentleri üzerinden geçen akımların hidrodinamiği için deneysel ve sayısal yöntemler kullanılmıştır. İlk olarak deneysel model çalışma sonuçları sunulmuş ve tartışılmıştır. Daha sonra aynı ölçek ve boyutlardaki üç boyutlu sayısal (HAD) analizlerinden elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırmalı bir biçimde verilerek tartışılmıştır. Bu şekilde hem sayısal model çalışmalarının doğruluğu gösterilmeye çalışılmış hem de sayısal analiz yöntemlerinin avantajları kullanılarak akımın hidrodinamiğiyle ilgili daha fazla detay elde edilmiştir. Son olarak ise model ölçeği 1/15 kabul edilerek prototip boyutlarında sayısal analizler yürütülerek sonuçlar tartışılmıştır.

3.1. Deneysel Model Sonuçları

Deneysel Bitlis Eren Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünde kurulan, taslağı ve görüntüleri Şekil 2.1 ve 2.2’de verilen deney setinde yürütülmüştür. Deneysel çalışmalara ait bazı görüntüler Şekil 3.1’de verilmiştir. Deney parametreleri Tablo 2.1’de verilmiştir. Bu değişkenlere göre elde edilmiş sonuçlar aşağıda verilmiştir. Tablo 2.1’de verilen değişkenler kullanılarak 3 farklı tip, 3 farklı kanal eğimi ve 9 farklı debi içi $(3 \times 3 \times 9) = 81$ adet deney yapılmıştır. Bu deneylerde blokların memba kenarı sıfır eksenini kabul edilerek -50 cm membadan +230 cm mansaba kadar 10 cm aralıklarla su yüzü kotları ölçülmüştür. Elektromagnetik debimetre ve ayarlanabilir vana yardımıyla 2.8 L/s ile 13.9 L/s aralığındaki farklı debi değerleri ile çalışılmıştır. Kanal eğimleri $J = 0.000$, 0.0025 ve 0.0050, kanal genişliği ise $b=40$ cm sabit kabul edilmiştir.

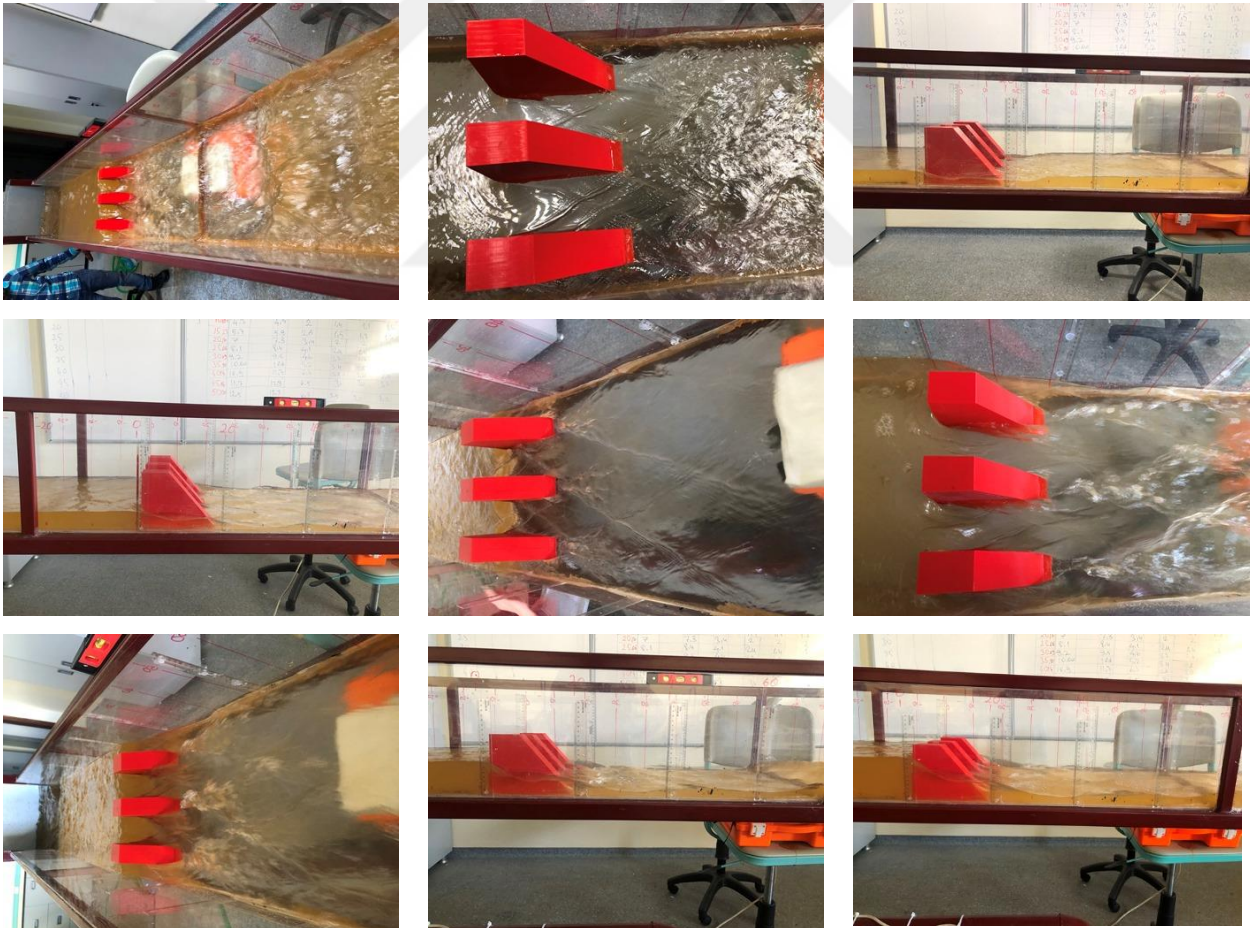




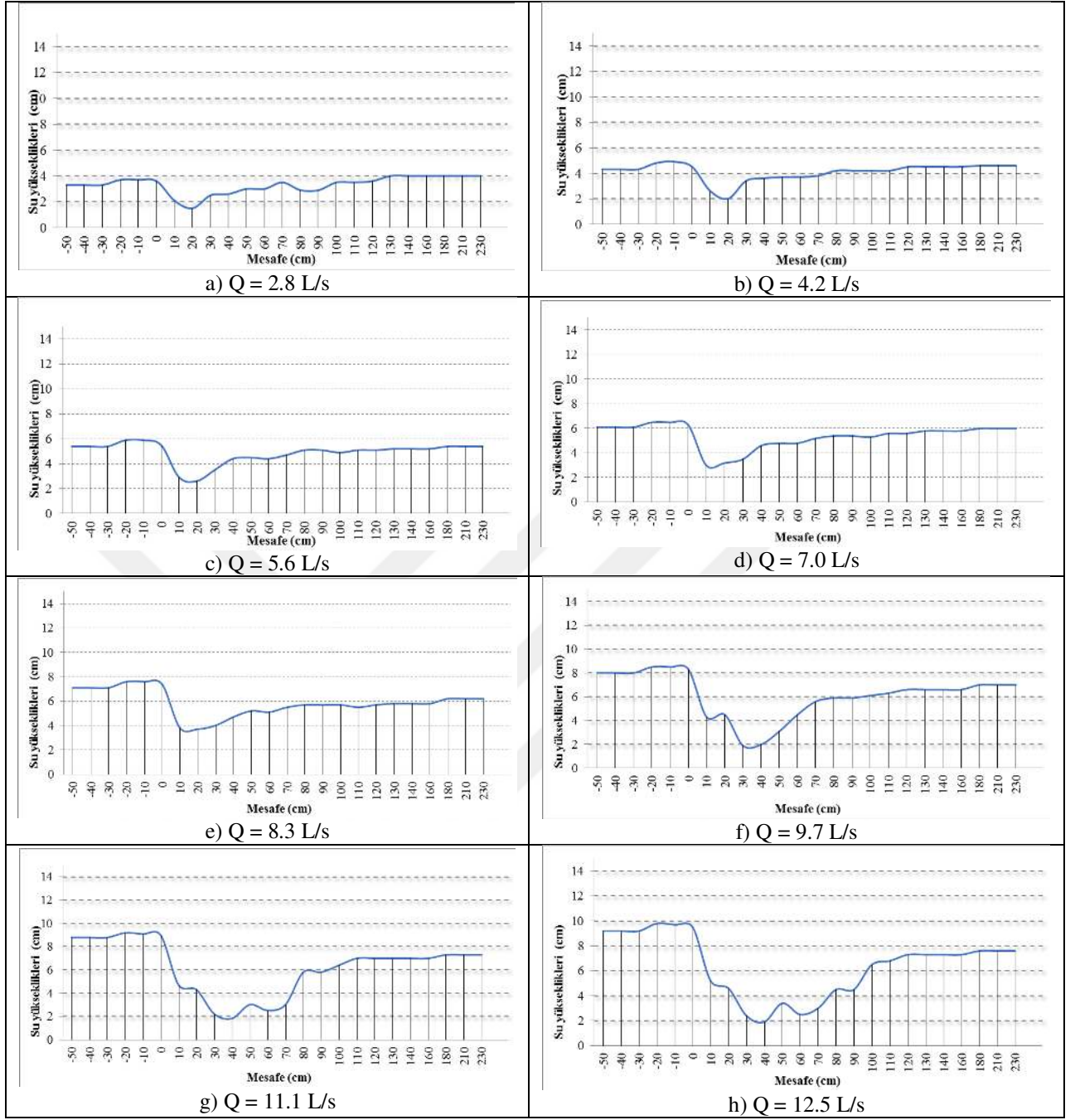
Şekil 3.1. Deneysel çalışmalardan görüntüler

3.1.1. Su Yüzü Profilleri

Tip-1 blok için farklı debilerdeki su yüzü görüntüleri Şekil 3.2’de verilmiştir. Ölçümler sonucu, Tip-1, Tip-2 ve Tip-3 blokları için kanal eğimi $J=0$ olası durumunda farklı debilerde elde edilen serbest su yüzü profilleri sırasıyla Şekil 3.3, 3.4 ve 3.5’deki grafiklerde verilmiştir.

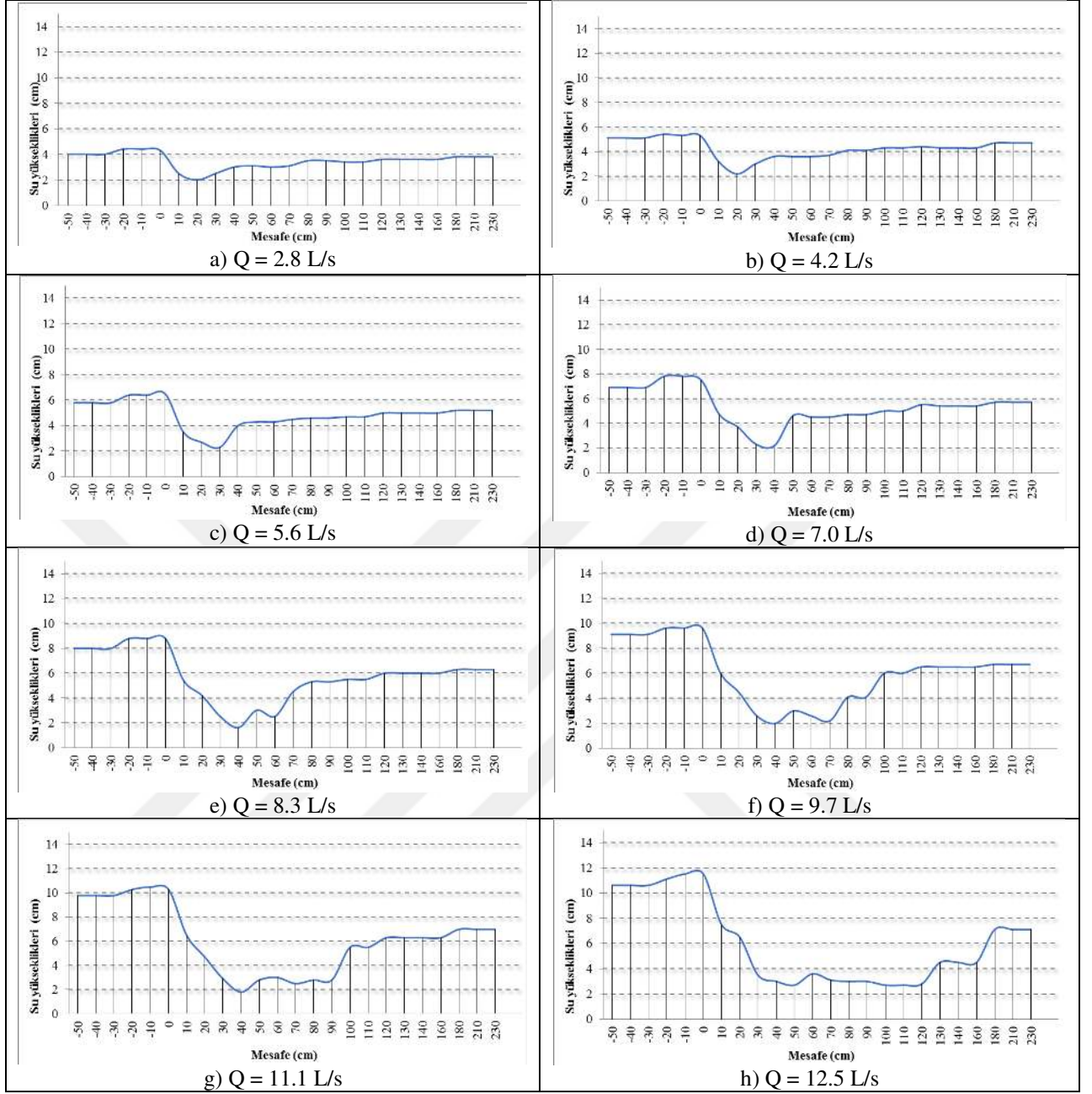


Şekil 3.2. Tip-1 için Deneysel çalışmalardan su yüzü görüntüleri



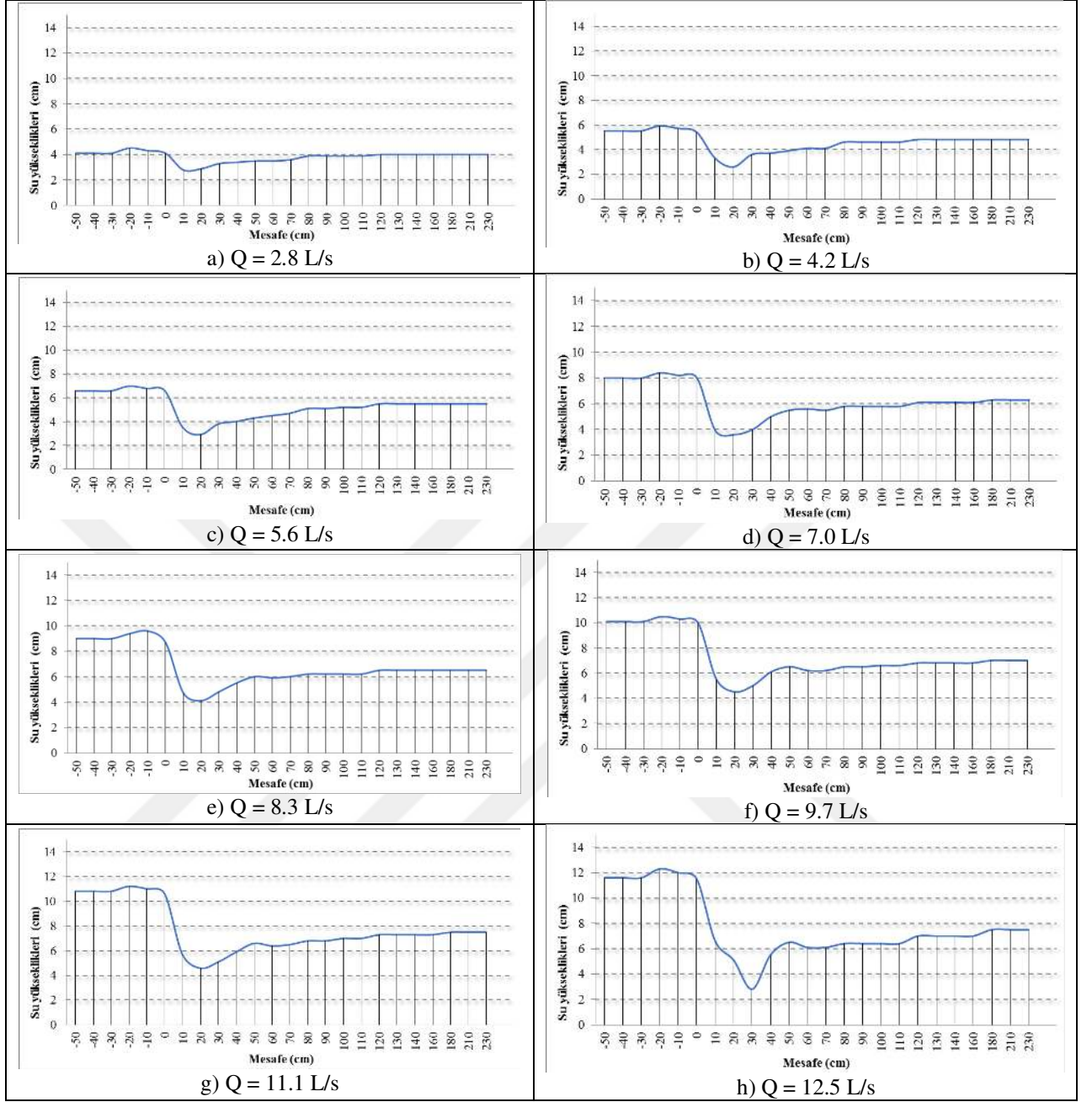
Şekil 3.3. Tip-1 kanal eğimi $J=0$ için farklı debilerde su yüzü profilleri ($t/s = 0.6$)

Şekil 3.3’de Tip-1 için kanal eğimi $J=0$ olması durumundaki su yüzü profilleri verilmektedir. Yatay eksendeki sıfır değeri blokların memba kenarına karşılık gelmektedir. Grafiklerden görüleceği üzere, bloklardan hemen önce su yüzünde bir yükselme meydana gelmekte ve daha sonra blok aralarının darlaşmasından dolayı birim debi ve dolayısıyla su hızı artarken akım derinliği düşmektedir. Bu durum daralan bir kanaldaki özgül enerji teorisine uymaktadır. Blokların hemen mansabında oluşan sel rejimi akım ilerlerken enerjisini kaybederek hidrolik sıçramaya uğrayıp tekrar nehir rejimi akıma geçiş yapar.



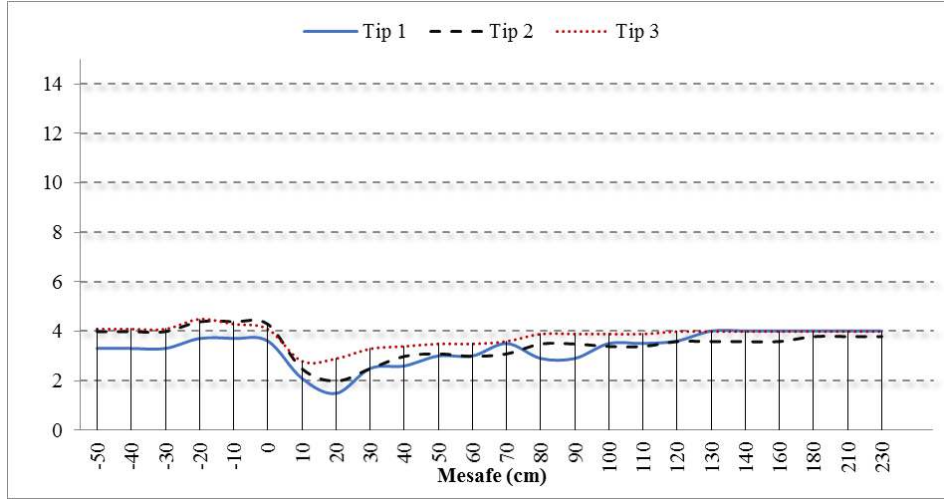
Şekil 3.4. Tip-2 kanal eğimi $J=0$ için farklı debilerde su yüzü profilleri ($t/s = 0.8$)

Benzer durumlar Tip-2 ($J=0$) için verilen Şekil 3.4'deki grafiklerde söz konusudur. Düşük debilerde daha düzgün bir su yüzeyi ve bloklara daha yakın bir hidrolik sıçrama gözlenirken debi büyüdükçe su yüzeyi dalgalanmakta, hidrolik sıçrama olayı daha uzakta gerçekleşmektedir. Genel olarak debi arttıkça daha çalkantılı ve daha uzun bir hidrolik sıçrama boyu oluşmaktadır. Özellikle bu hidrolik sıçrama boyundaki artışlar $Q=12.5 \text{ L/s}$ gibi yüksek debilerde belirgin olarak götürülmektedir. Tip-1'den farklı olarak, Tip-2'de blok kalınlıkları giderek arttığından (blok aralıkları azalacak) blok aralığındaki birim debi dolayısıyla akım hızları artmaktadır.

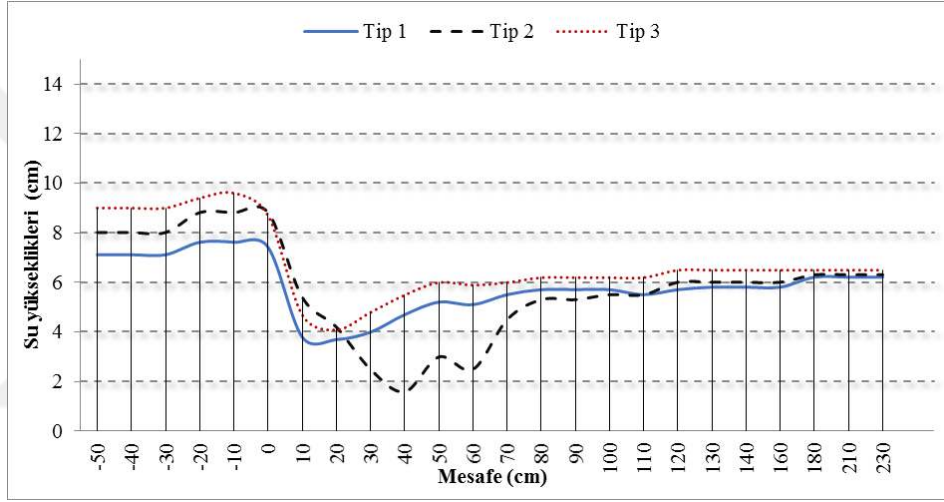


Şekil 3.5. Tip-3 kanal eğimi $J=0$ için farklı debilerde su yüzü profilleri ($t/s = 1.0$)

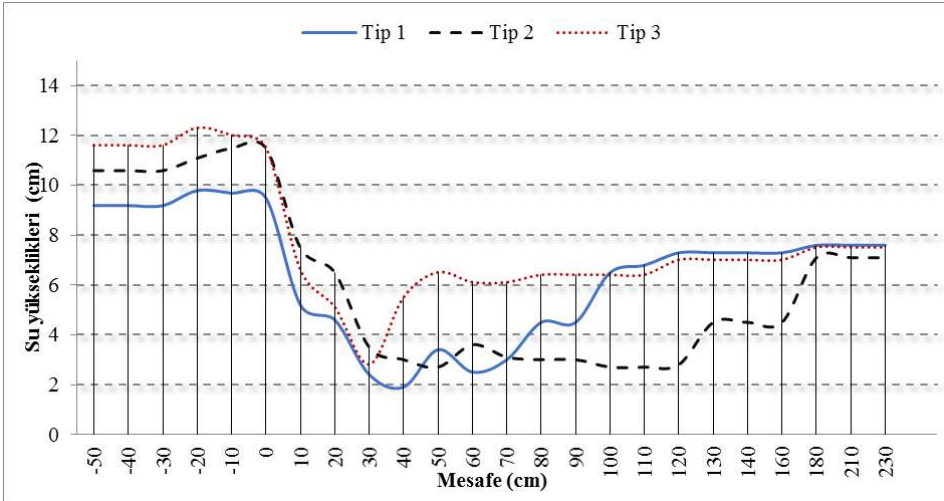
Şekil 3.5'te görüleceği üzere Tip-1 ve Tip-2 için görülen su yüzü profillerinin benzer değişimleri Tip-3 için de geçerlidir. İlginç bir şekilde su yüzü dalgalanmaları en az bu tip için gerçekleşmiştir. Özellikle büyük debilerde ($Q > 10$ L/s) Tip-1 ($t/s = 0.6$) ve Tip-2 ($t/s = 0.8$) için mansap bölgesinde daha dalgalı su yüzü ve daha uzun bir hidrolik sıçrama oluşurken; Tip-3 ($t/s = 1.0$) için daha düzgün bir su yüzü ve küçük debilerdeki gibi kısa bir hidrolik sıçrama meydana gelmektedir. Yüzey dalgalanmalarının sebebinin, blok aralıklarından çıkan akımın akıma dik momentumlarının etkileşimi sonucu olduğu ve bu etkinin en çok Tip-2 ($t/s=0.8$) için gerçekleştiği söylenebilir.



a) $Q = 2.8 \text{ L/s}$



b) $Q = 8.3 \text{ L/s}$

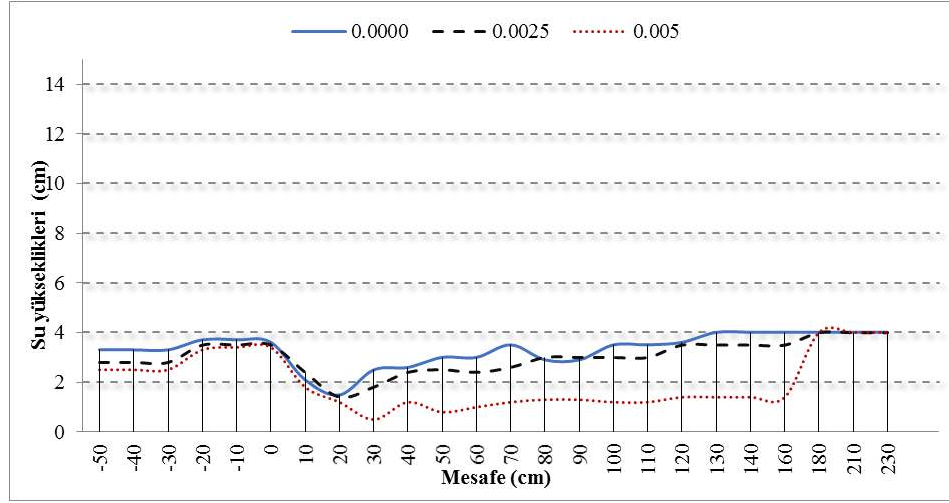


c) $Q = 12.5 \text{ L/s}$

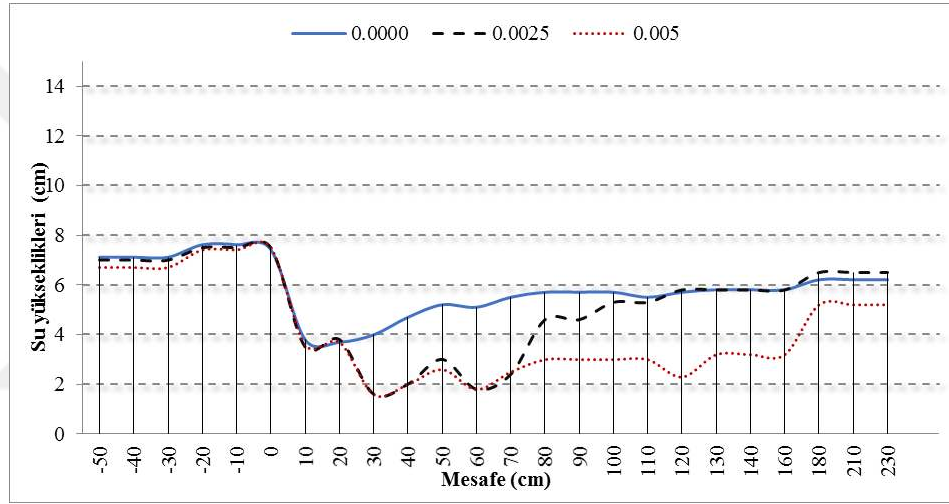
Şekil 3.6. Aynı debilerde farklı eşik tipleri için su yüzü profillerinin karşılaştırılması ($J=0$)

Blok tiplerinin su yüzü profilleri üzerindeki farklılıklarını daha iyi görebilmek için Şekil 3.6’te küçük ($Q=2.8$ L/s) , orta ($Q=8.3$ L/s) ve büyük ($Q=12.5$ L/s) debilerde olmak üzere üç farklı akım durumunda üç farklı tipin su yüzü profilleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil 3.6(a)’da görüleceği gibi küçük debi değerlerinde su yüzü profilleri arasında çok önemli bir fark gözlemlenmezken, Şekil 3.6 (b) ve (c)’de debi arttıkça su yüzü profilleri arasında belirgin farklar olduğu görülmektedir. Orta debi değeri için Tip-2’nin su yüzü profili diğerlerinden ayrılırken Tip-1 ve Tip-3 için su yüzleri birbirine benzerlik göstermektedir. Büyük debiler için ise ($Q=12.5$ L/s) Tip-1 ve Tip-2 için su yüzü profilleri farklılaşmakta ancak Tip-3 için su yüzü profili daha küçük debilerden çok da ayrılmamaktadır. Sıçrama yüzey dalgalanmalarının ve hidrolik sıçrama uzunluğunun en fazla olduğu blok tipi Tip-2 olmuştur. Bir başka değişle akımın hidroliğini en fazla etkileyen blok tipi $t/s = 0.8$ oranıyla Tip-2 olduğu anlaşılmaktadır.

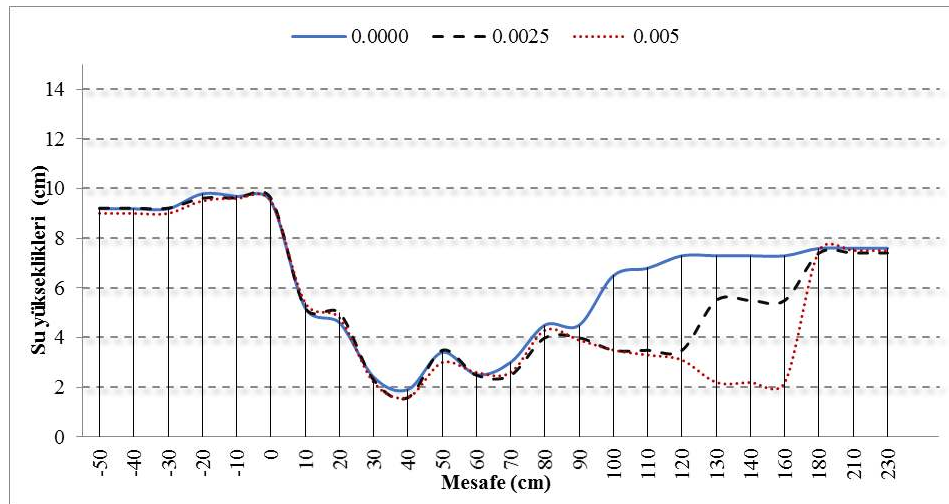
Kanal eğiminin su yüzü profilleri üzerine etkilerini görmek için Şekil 3.7, 3.8 ve 3.9’da sırasıyla Tip-1, Tip-2 ve Tip-3 için aynı debide (küçük, orta ve büyük) üç farklı kanal eğimindeki su yüzü profilleri gösterilmiştir. Grafiklerden görüleceği üzere kanal eğimi arttıkça akım hızı artacağından her durum için hidrolik sıçrama mansaba doğru kaymaktadır. Küçük debilerde kanal eğimi etkisini sadece büyük eğimlerde ($J=0.0050$) gösterirken, büyük debilerde eğim değiştikçe orta ($J=0.0025$) ve yüksek ($J=0.005$) eğimlerde girdikçe etkisini daha fazla göstermektedir. Kanal eğimi arttıkça su yüzeyindeki çalkantıyla birlikte hidrolik sıçrama uzunluklarının arttığı görülmektedir. Grafiklerden elde edilebilecek diğer dikkat çekici bir sonuç ise; Tip-1 için küçük debilerde küçük eğimler arasında önemli bir fark olmazken (Şekil 3.7), Tip-3 için ise büyük eğimle orta eğim arasında önemli bir fark oluşmamasıdır (Şekil 3.9). Bu durum, t/s oranındaki artışın kanal eğimi etkisini artırıcı rol oynadığını gösterir.



a) $Q = 2.8$ L/s

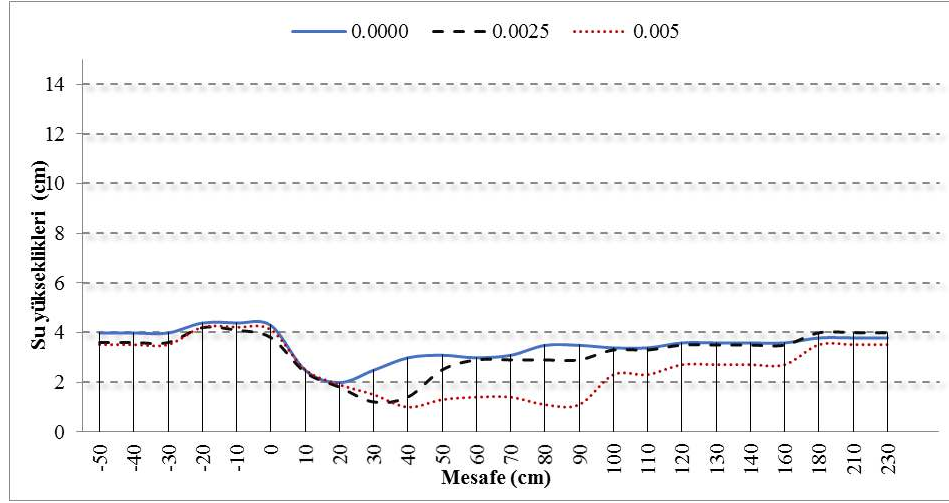


b) $Q = 8.3$ L/s

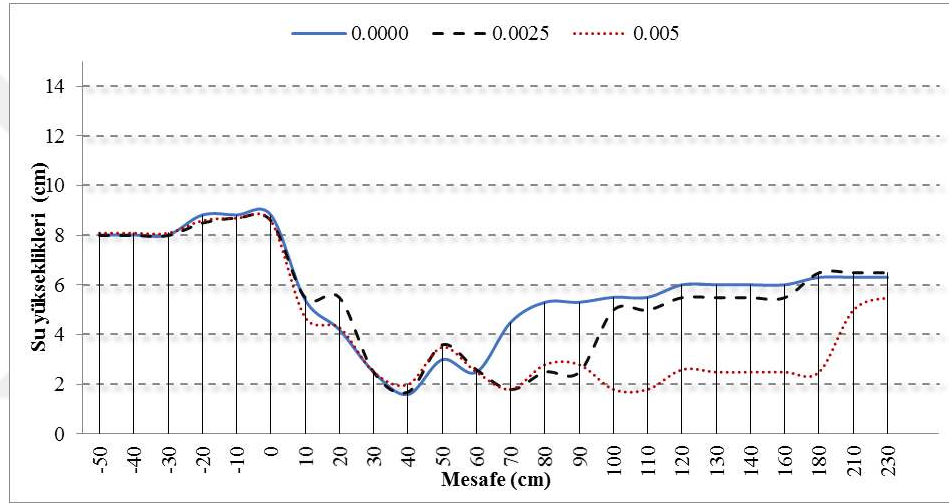


c) $Q = 12.5$ L/s

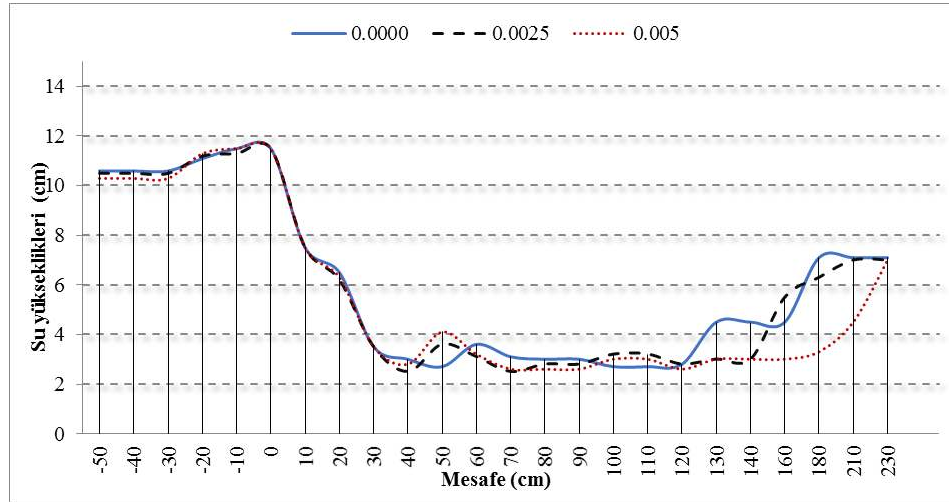
Şekil 3.7. Aynı debilerde farklı kanal eğimleri için su yüzü profillerinin karşılaştırılması (Tip-1)



a) $Q = 2.8 \text{ L/s}$

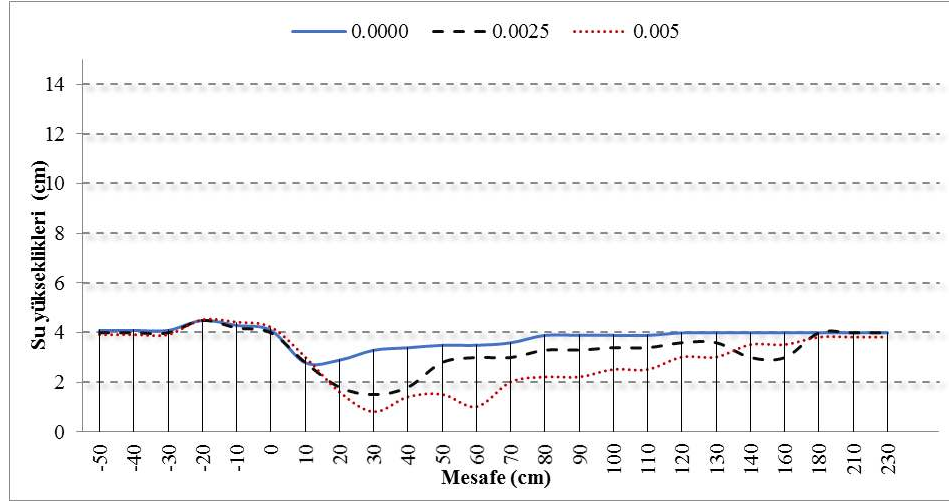


b) $Q = 8.3 \text{ L/s}$

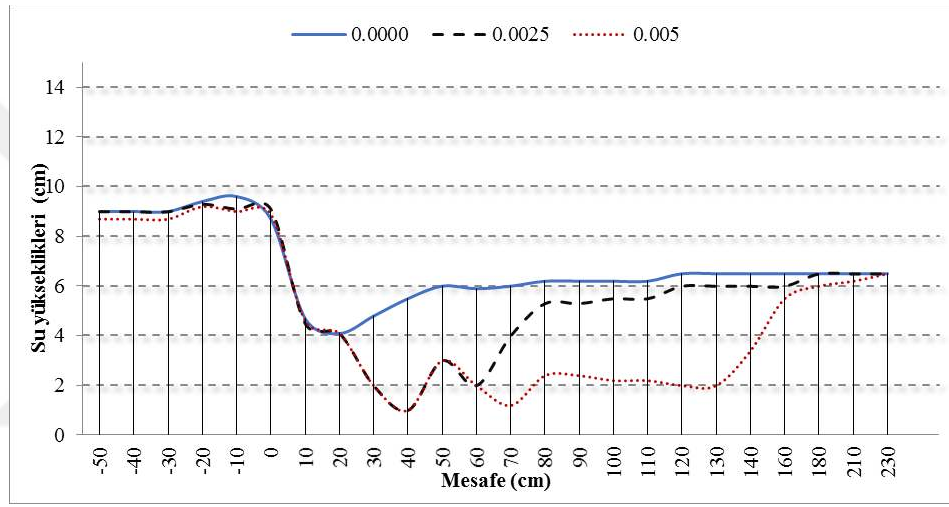


c) $Q = 12.5 \text{ L/s}$

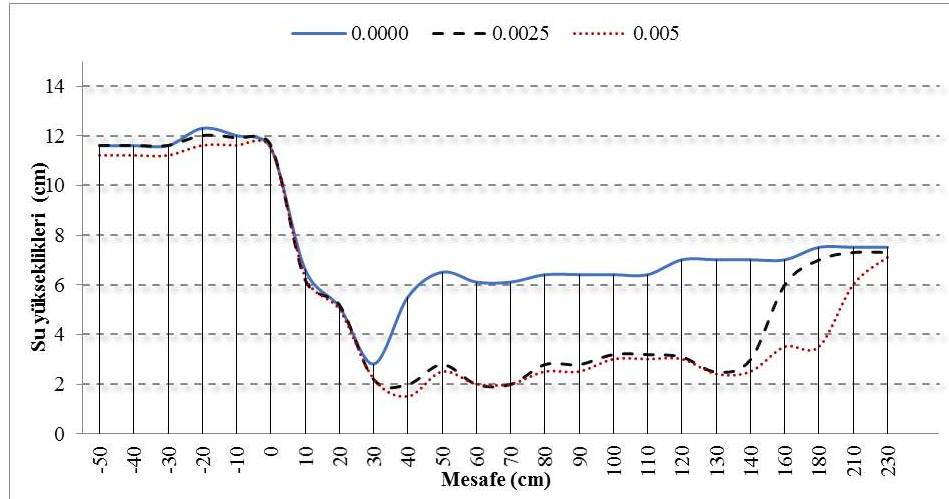
Şekil 3.8. Aynı debilerde farklı kanal eğimleri için su yüzü profillerinin karşılaştırılması (Tip-2)



a) $Q = 2.8 \text{ L/s}$



b) $Q = 8.3 \text{ L/s}$



c) $Q = 12.5 \text{ L/s}$

Şekil 3.9. Aynı debilerde farklı kanal eğimleri için su yüzü profillerinin karşılaştırılması (Tip-3)

3.1.2. Enerji Sönümlleme Oranları

Deneylerde normal kanalın mansap akımı için nehir rejimi söz konusudur ($F < 1$). Blokların arasından geçen akımın hızı artarken derinliği azalarak akım minimum enerjisini kullanmak için kritik akım durumuna ulaşmaktadır. Dolayısıyla blokların hemen mansabında akım sel rejimine ($Fr > 1$) geçmektedir. Mansaba doğru ilerleyen akım mansap derinliğine ulaşmak için hidrolik sıçramaya uğrayarak tekrar nehir rejimine geçmektedir. Akımın bloklara çarpması ve tüm bu olaylar sonucu akım enerjisinin bir kısmını kaybedecektir. Ayrıca blokların mansabında oluşan sel rejimi akımın mansaba doğru oluşturduğu boyuna hidrolik sıçrama ve yoğun çalkantı ve türbülans gibi nedenlerle akım enerji kaybına uğrayacaktır. Özellikle taşkınlar sırasındaki yüksek debili akımlarda akarsu düzenlemesi ve taşkın etkisinin azaltılması bakımından bu enerji sönümllemelerinin etkisi önemli olacaktır. Özetlemek gerekirse bu tip bloklar arası akımda oluşacak enerji kayıplarının sebepleri şu şekilde sıralanabilir:

1. Akımın bloklara çarpması, yani akıma dik blok yüzey alanlarının akımda oluşturduğu direnç,
2. Blokların mansabında oluşan boyuna hidrolik sıçrama,
3. Blokların mansabında çıkan akımların kanala dik doğrultuda çarpışması sonucu oluşan enine hidrolik sıçrama
4. Mansap akımlarının çarpışması sonucu oluşan çalkantı ve türbülans.

Blokların ve oluşturduğu karmaşık akım rejiminin meydana getireceği enerji sönümlleme oranlarını belirlemek için blokların memba ve mansap (Hidrolik sıçrama sonrası) kesitlerindeki enerjileri ve enerji sönümlleme oranı aşağıdaki denklemlerle hesaplanmıştır.

$$E_1 = h_1 + \frac{V_1^2}{2g} \quad (3.1)$$

$$E_2 = h_2 + \frac{V_2^2}{2g} \quad (3.2)$$

$$\Delta E(\%) = \frac{E_2}{E_1} \times 100 \quad (3.2)$$

Bu denklemlerdeki, E : akımın özgül enerjisini (akım tabanı yatay kabul edildiğinden aynı zamanda toplam enerjisi), h : akım derinliğini, V akımın ortalama hızını, g : yer çekim ivmesini ve $\Delta E(\%)$: Enerji sönümlleme yüzdesini ifade etmektedir. Denklemlerdeki 1 ve 2 indisleriyse sırasıyla blokların membasını ve mansabını ifade etmektedir.

Çizelge 3.1. Tip-1 için enerji sönümleme hesap tabloları ($J = 0.0000$)

Q (L/s)	q (m ³ /s/m)	h ₁ (m)	V ₁ (m/s)	F ₁	h ₂ (m)	V ₂ (m/s)	E ₁ (m)	E ₂ (m)	ΔE (%)
2.80	0.0070	0.033	0.212	0.373	0.033	0.214	0.035	0.035	0.73
4.20	0.0105	0.043	0.244	0.376	0.042	0.250	0.046	0.045	1.85
5.60	0.0140	0.054	0.259	0.356	0.051	0.275	0.057	0.055	4.50
7.00	0.0175	0.061	0.287	0.371	0.054	0.324	0.065	0.059	8.96
8.30	0.0208	0.071	0.292	0.350	0.057	0.364	0.075	0.064	15.39
9.70	0.0243	0.080	0.303	0.342	0.059	0.411	0.085	0.068	20.16
11.10	0.0278	0.088	0.315	0.339	0.060	0.463	0.093	0.071	23.82
12.50	0.0313	0.092	0.340	0.358	0.058	0.539	0.098	0.073	25.63
13.90	0.0348	0.100	0.348	0.351	0.060	0.579	0.106	0.077	27.37

Çizelge 3.2. Tip-1 için enerji sönümleme hesap tabloları ($J = 0.0025$)

Q (L/s)	q (m ³ /s/m)	h ₁ (m)	V ₁ (m/s)	F ₁	h ₂ (m)	V ₂ (m/s)	E ₁ (m)	E ₂ (m)	ΔE (%)
2.80	0.0070	0.028	0.250	0.477	0.028	0.254	0.031	0.031	0.98
4.20	0.0105	0.041	0.256	0.404	0.040	0.266	0.044	0.043	2.80
5.60	0.0140	0.051	0.275	0.388	0.044	0.318	0.055	0.049	10.36
7.00	0.0175	0.060	0.292	0.380	0.048	0.365	0.064	0.055	14.86
8.30	0.0208	0.070	0.296	0.358	0.050	0.415	0.074	0.059	21.08
9.70	0.0243	0.078	0.311	0.355	0.031	0.782	0.083	0.062	25.01
11.10	0.0278	0.085	0.326	0.358	0.036	0.771	0.090	0.066	26.70
12.50	0.0313	0.092	0.340	0.358	0.040	0.781	0.098	0.071	27.35
13.90	0.0348	0.098	0.355	0.362	0.045	0.772	0.104	0.075	27.79

Çizelge 3.3. Tip-1 için enerji sönümleme hesap tabloları ($J = 0.0050$)

Q (L/s)	q (m ³ /s/m)	h ₁ (m)	V ₁ (m/s)	F ₁	h ₂ (m)	V ₂ (m/s)	E ₁ (m)	E ₂ (m)	ΔE (%)
2.80	0.0070	0.025	0.280	0.565	0.013	0.560	0.029	0.028	1.74
4.20	0.0105	0.040	0.263	0.419	0.015	0.724	0.044	0.041	5.22
5.60	0.0140	0.050	0.280	0.400	0.018	0.778	0.054	0.049	9.53
7.00	0.0175	0.058	0.302	0.400	0.023	0.761	0.063	0.053	16.15
8.30	0.0208	0.067	0.310	0.382	0.028	0.741	0.072	0.056	22.09
9.70	0.0243	0.075	0.323	0.377	0.034	0.713	0.080	0.060	25.38
11.10	0.0278	0.084	0.330	0.364	0.038	0.730	0.090	0.065	27.21
12.50	0.0313	0.090	0.347	0.370	0.047	0.665	0.096	0.070	27.67
13.90	0.0348	0.096	0.362	0.373	0.050	0.695	0.103	0.075	27.32

Tablo 3.1-3.3’de Tip 1 için enerji sönümleme hesap tabloları verilmiştir. Memba Froude sayıları 0.3 ile 0.56 arasında olup akımın nehir rejiminde olduğu görülmektedir. Debi arttıkça enerji sönümleme oranlarının da arttığı gözlemlenmiştir. Bu enerji artış oranlarının %0 ile %28 aralığında olduğu belirlenmiştir. Kanal eğimi arttıkça enerji sönüm oranları az miktarda artmakla birlikte belirgin bir değişiklik olmamıştır.

Çizelge 3.4. Tip-2 için enerji sönümleme hesap tabloları ($J = 0.0000$)

Q (L/s)	q (m ³ /s/m)	h ₁ (m)	V ₁ (m/s)	F ₁	h ₂ (m)	V ₂ (m/s)	E ₁ (m)	E ₂ (m)	ΔE (%)
2.80	0.0070	0.040	0.175	0.279	0.039	0.179	0.042	0.041	2.21
4.20	0.0105	0.051	0.206	0.291	0.048	0.219	0.053	0.050	5.12
5.60	0.0140	0.058	0.241	0.320	0.052	0.269	0.061	0.056	8.65
7.00	0.0175	0.069	0.254	0.308	0.057	0.307	0.072	0.062	14.49
8.30	0.0208	0.080	0.259	0.293	0.063	0.329	0.083	0.069	17.86
9.70	0.0243	0.091	0.266	0.282	0.067	0.362	0.095	0.074	22.13
11.10	0.0278	0.098	0.283	0.289	0.068	0.408	0.102	0.076	25.08
12.50	0.0313	0.106	0.295	0.289	0.071	0.440	0.110	0.081	26.76
13.90	0.0348	0.114	0.305	0.288	0.074	0.470	0.119	0.085	28.21

Çizelge 3.5. Tip-2 için enerji sönümleme hesap tabloları ($J = 0.0025$)

Q (L/s)	q (m ³ /s/m)	h ₁ (m)	V ₁ (m/s)	F ₁	h ₂ (m)	V ₂ (m/s)	E ₁ (m)	E ₂ (m)	ΔE (%)
2.80	0.0070	0.036	0.194	0.327	0.035	0.200	0.038	0.037	2.34
4.20	0.0105	0.048	0.219	0.319	0.045	0.233	0.050	0.048	5.28
5.60	0.0140	0.059	0.237	0.312	0.052	0.269	0.062	0.056	9.98
7.00	0.0175	0.069	0.254	0.308	0.056	0.313	0.072	0.061	15.64
8.30	0.0208	0.080	0.259	0.293	0.061	0.340	0.083	0.067	19.81
9.70	0.0243	0.089	0.272	0.292	0.063	0.385	0.093	0.071	23.96
11.10	0.0278	0.098	0.283	0.289	0.065	0.427	0.102	0.074	27.23
12.50	0.0313	0.105	0.298	0.293	0.065	0.481	0.110	0.077	29.89
13.90	0.0348	0.112	0.310	0.296	0.066	0.527	0.117	0.080	31.46

Çizelge 3.6. Tip-2 için enerji sönümleme hesap tabloları ($J = 0.005$)

Q (L/s)	q (m ³ /s/m)	h ₁ (m)	V ₁ (m/s)	F ₁	h ₂ (m)	V ₂ (m/s)	E ₁ (m)	E ₂ (m)	ΔE (%)
2.80	0.0070	0.035	0.200	0.341	0.034	0.209	0.037	0.036	3.54
4.20	0.0105	0.048	0.219	0.319	0.044	0.239	0.050	0.047	7.01
5.60	0.0140	0.058	0.241	0.320	0.049	0.286	0.061	0.053	12.80
7.00	0.0175	0.068	0.257	0.315	0.053	0.330	0.071	0.059	17.96
8.30	0.0208	0.081	0.256	0.287	0.055	0.377	0.084	0.062	26.19
9.70	0.0243	0.088	0.276	0.297	0.053	0.458	0.092	0.064	30.69
11.10	0.0278	0.094	0.295	0.307	0.036	0.771	0.098	0.066	32.65
12.50	0.0313	0.103	0.303	0.302	0.040	0.781	0.108	0.071	33.96
13.90	0.0348	0.111	0.313	0.300	0.043	0.808	0.116	0.076	34.22

Tablo 3.4-3.6’de Tip 2 için enerji sönümleme hesap tabloları verilmiştir. Memba Froude sayıları 0.28 ile 0.34 arasında olup akımın nehir rejiminde olduğu görülmektedir. Debi arttıkça enerji sönümleme oranlarının da arttığı gözlemlenmiştir. Bu enerji artış oranlarının %2.2 ile %34.22 aralığında olduğu belirlenmiştir. Kanal eğimi arttıkça enerji sönüm oranları az miktarda artmakla birlikte belirgin bir değişiklik olmamıştır.

Çizelge 3.7. Tip-3 için enerji sönümleme hesap tabloları ($J = 0.0000$)

Q (L/s)	q (m ³ /s/m)	h ₁ (m)	V ₁ (m/s)	F ₁	h ₂ (m)	V ₂ (m/s)	E ₁ (m)	E ₂ (m)	ΔE (%)
2.80	0.0070	0.041	0.171	0.269	0.039	0.179	0.042	0.041	4.34
4.20	0.0105	0.055	0.191	0.260	0.050	0.210	0.057	0.052	8.11
5.60	0.0140	0.066	0.212	0.264	0.055	0.255	0.068	0.058	14.63
7.00	0.0175	0.080	0.219	0.247	0.063	0.278	0.082	0.067	18.81
8.30	0.0208	0.090	0.231	0.245	0.065	0.319	0.093	0.070	24.29
9.70	0.0243	0.101	0.240	0.241	0.070	0.346	0.104	0.076	26.77
11.10	0.0278	0.108	0.257	0.250	0.072	0.385	0.111	0.080	28.55
12.50	0.0313	0.116	0.269	0.253	0.075	0.417	0.120	0.084	29.95
13.90	0.0348	0.125	0.278	0.251	0.080	0.434	0.129	0.090	30.50

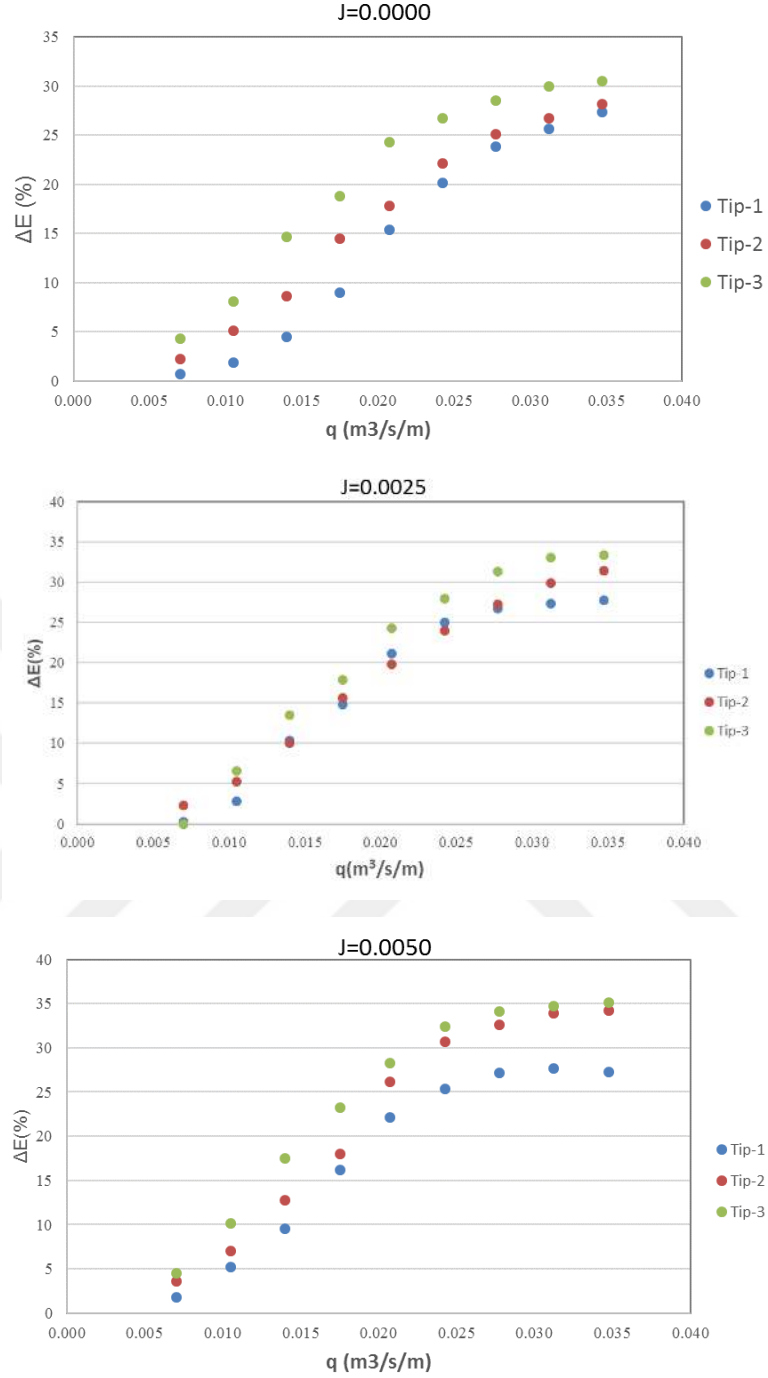
Çizelge 3.8. Tip-3 için enerji sönümleme hesap tabloları ($J = 0.0025$)

Q (L/s)	q (m ³ /s/m)	h ₁ (m)	V ₁ (m/s)	F ₁	h ₂ (m)	V ₂ (m/s)	E ₁ (m)	E ₂ (m)	ΔE (%)
2.80	0.0070	0.040	0.175	0.279	0.040	0.175	0.042	0.042	0.00
4.20	0.0105	0.054	0.194	0.267	0.050	0.210	0.056	0.052	6.58
5.60	0.0140	0.065	0.215	0.270	0.055	0.255	0.067	0.058	13.45
7.00	0.0175	0.079	0.222	0.252	0.063	0.278	0.082	0.067	17.87
8.30	0.0208	0.090	0.231	0.245	0.065	0.319	0.093	0.070	24.29
9.70	0.0243	0.098	0.247	0.252	0.066	0.367	0.101	0.073	27.93
11.10	0.0278	0.108	0.257	0.250	0.068	0.408	0.111	0.076	31.32
12.50	0.0313	0.116	0.269	0.253	0.070	0.446	0.120	0.080	33.03
13.90	0.0348	0.125	0.278	0.251	0.075	0.463	0.129	0.086	33.35

Çizelge 3.9. Tip-3 için enerji sönümleme hesap tabloları ($J = 0.005$)

Q (L/s)	q (m ³ /s/m)	h ₁ (m)	V ₁ (m/s)	F ₁	h ₂ (m)	V ₂ (m/s)	E ₁ (m)	E ₂ (m)	ΔE (%)
2.80	0.0070	0.039	0.179	0.290	0.037	0.189	0.041	0.039	4.470
4.20	0.0105	0.051	0.206	0.291	0.045	0.233	0.053	0.048	10.128
5.60	0.0140	0.064	0.219	0.276	0.051	0.275	0.066	0.055	17.454
7.00	0.0175	0.078	0.224	0.256	0.057	0.307	0.081	0.062	23.284
8.30	0.0208	0.087	0.239	0.258	0.058	0.358	0.090	0.065	28.223
9.70	0.0243	0.098	0.247	0.252	0.060	0.404	0.101	0.068	32.427
11.10	0.0278	0.103	0.269	0.268	0.032	0.867	0.107	0.070	34.069
12.50	0.0313	0.112	0.279	0.266	0.035	0.893	0.116	0.076	34.764
13.90	0.0348	0.120	0.290	0.267	0.038	0.914	0.124	0.081	35.107

Tablo 3.7-3.9’da Tip 3 için enerji sönümleme hesap tabloları verilmiştir. Membra Froude sayıları 0.27 ile 0.29 arasında olup akımın nehir rejiminde olduğu görülmektedir. Debi arttıkça enerji sönümleme oranlarının da arttığı gözlemlenmiştir. Bu enerji artış oranlarının %0 ile %35 aralığında olduğu belirlenmiştir. Kanal eğimi arttıkça enerji sönüm oranları az miktarda artmakla birlikte belirgin bir değişiklik olmamıştır.



Şekil 3.10. Enerji sönümleme oranlarının birim debi ile değişimlerinin karşılaştırmaları.

Farklı blok tiplerinin enerji sönümleme üzerindeki etkilerini daha iyi görebilmek için Şekil 3.10 da farklı eğimler için farklı blok tiplerinin enerji sönümleme oranlarının birim debi ile değişimleri karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur. Grafiklerden görüleceği üzere düşük ve yüksek birim debilerde artış hızı düşükken orta değerlerde artış hızı yüksektir. Ayrıca bloklardaki t/s (0.6 – 1.0) oranı arttıkça enerji sönümleme oranının da belirli miktarda arttığı gözlemlenmiştir. Buna göre en fazla enerji sönümleme $t/s=1.0$ ile Tip 3 bloklar için gerçekleşmiştir.

3.2. Sayısal Model Sonuçları

Bu bölümde kanal eğimi 0 olan deney setleri için HAD kullanılarak sayısal model çalışmaları yürütülmüştür. Elde edilen sayısal model sonuçları deneysel model sonuçlarıyla karşılaştırılarak sonuçlar yorumlanmış ve bir sayısal modelin doğrulaması yapılmıştır.

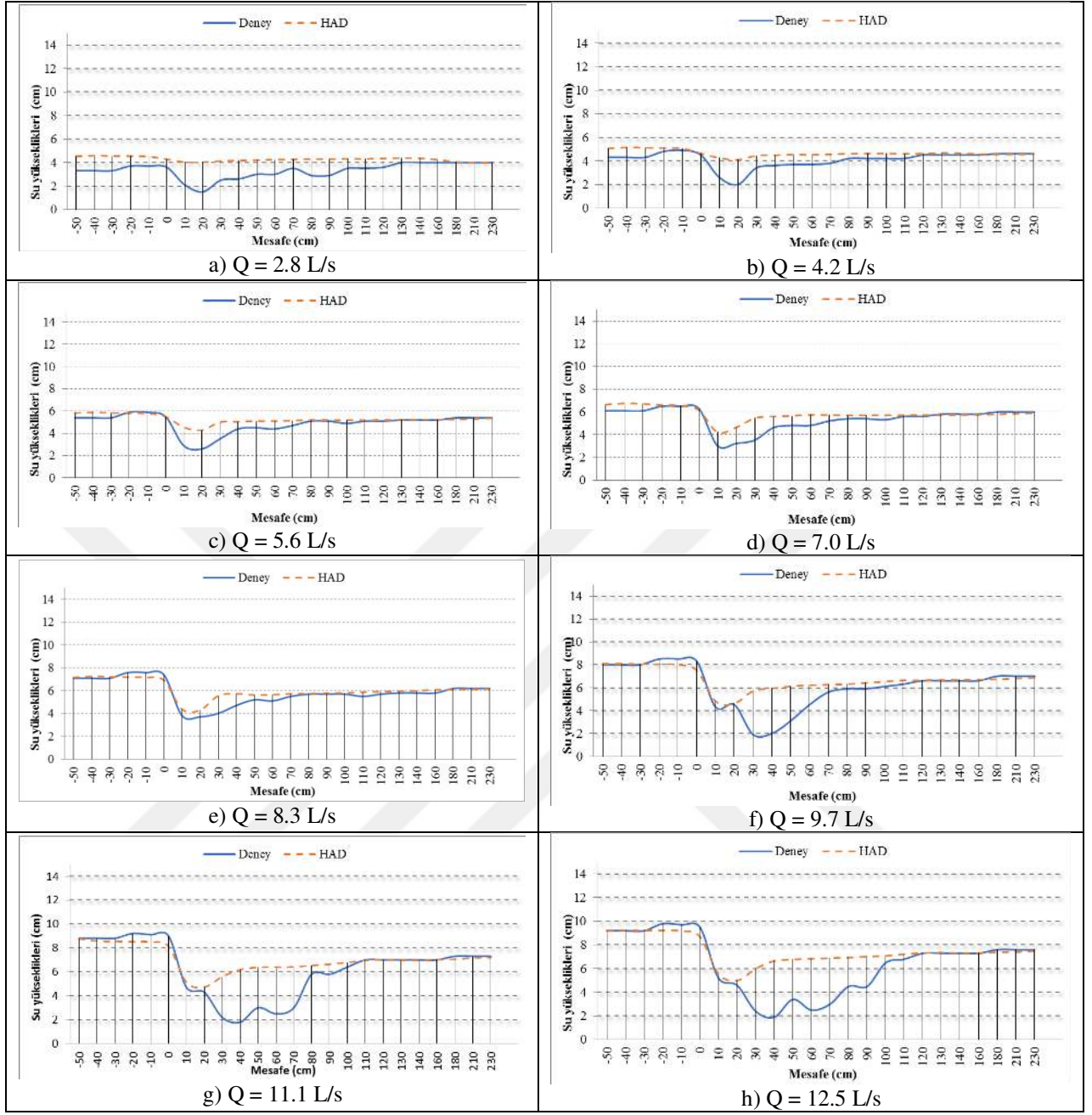
3.2.1. Su yüzü profillerinin karşılaştırılması

Şekil 3.11.'de Tip-1 için sayısal ve deneysel model çalışmasından elde edilen boy kesit su yüzü profilleri her bir debi için karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Debinin düşük olduğu (2,8-5,6 L/s) deneylerde su dalgalanmalarındaki fark deneysel model çalışmalarında ve sayısal çalışmalar arasında çok farklılık göstermemektedir. Fakat debinin artmasıyla (7.0-9,7 L/s) sayısal ve deneysel model çalışmaları arasında farklar oluşmaktadır. Debi değerlerinin maksimum olduğu (11.1-12.5 L/s) kısımlarda ise deneysel çalışma ve sayısal çalışmalarımız arasında net farklar görülmektedir.

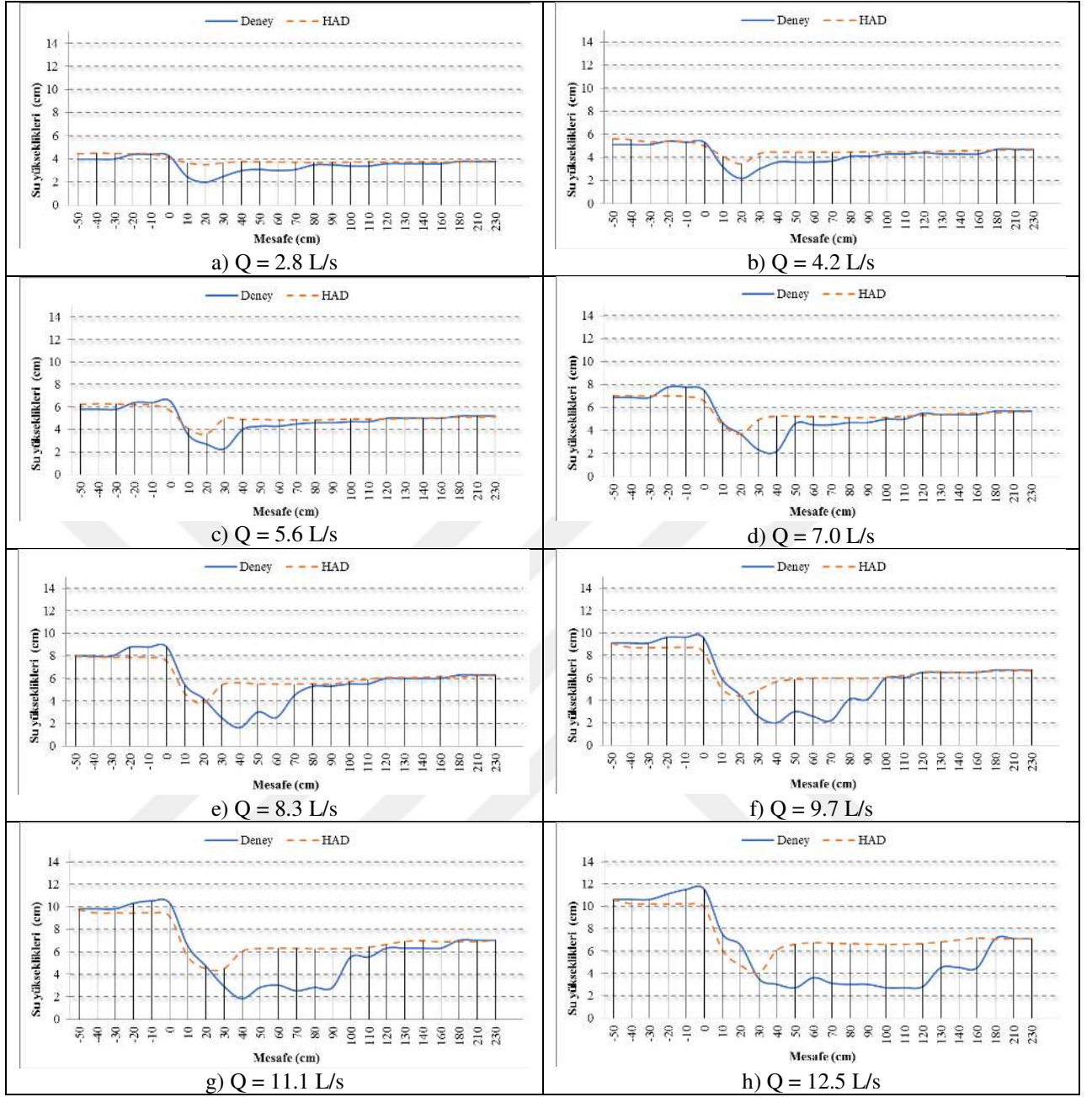
Benzer olarak Tip-2 için verilen Şekil 3.12'deki karşılaştırmalarda da düşük debilerdeki sayısal analiz sonuçlarından elde edilen su yüzü profillerindeki hidrolik sıçrama olayı deneysel sonuçlarındaki kadar belirgin değildir. Yüksek debilerde ise yine deneysel sonuçlarda elde edilen dalgalı ve uzun hidrolik sıçrama profilleri sayısal modellerde tam olarak elde edilememiştir. Bunların dışında memba ve mansap su yüzü profillerinde yeterli bir uyum gözlemlenmektedir.

Diğer taraftan Tip-3 için verilen Şekil 3.13'deki grafiklerde deneysel ve sayısal su yüzü profillerinin çok iyi bir uyum içinde oldukları görülmektedir. Tip-1 ve Tip-2'deki su yüzü dalgalanmalarının iyi bir şekilde modellenememesinin sebebinin seçilen türbülans modeli ve meş yapısının alabileceği düşünülmektedir. Elde edilen sonuçların bu çalışma için yeterli olduğu değerlendirilmektedir.

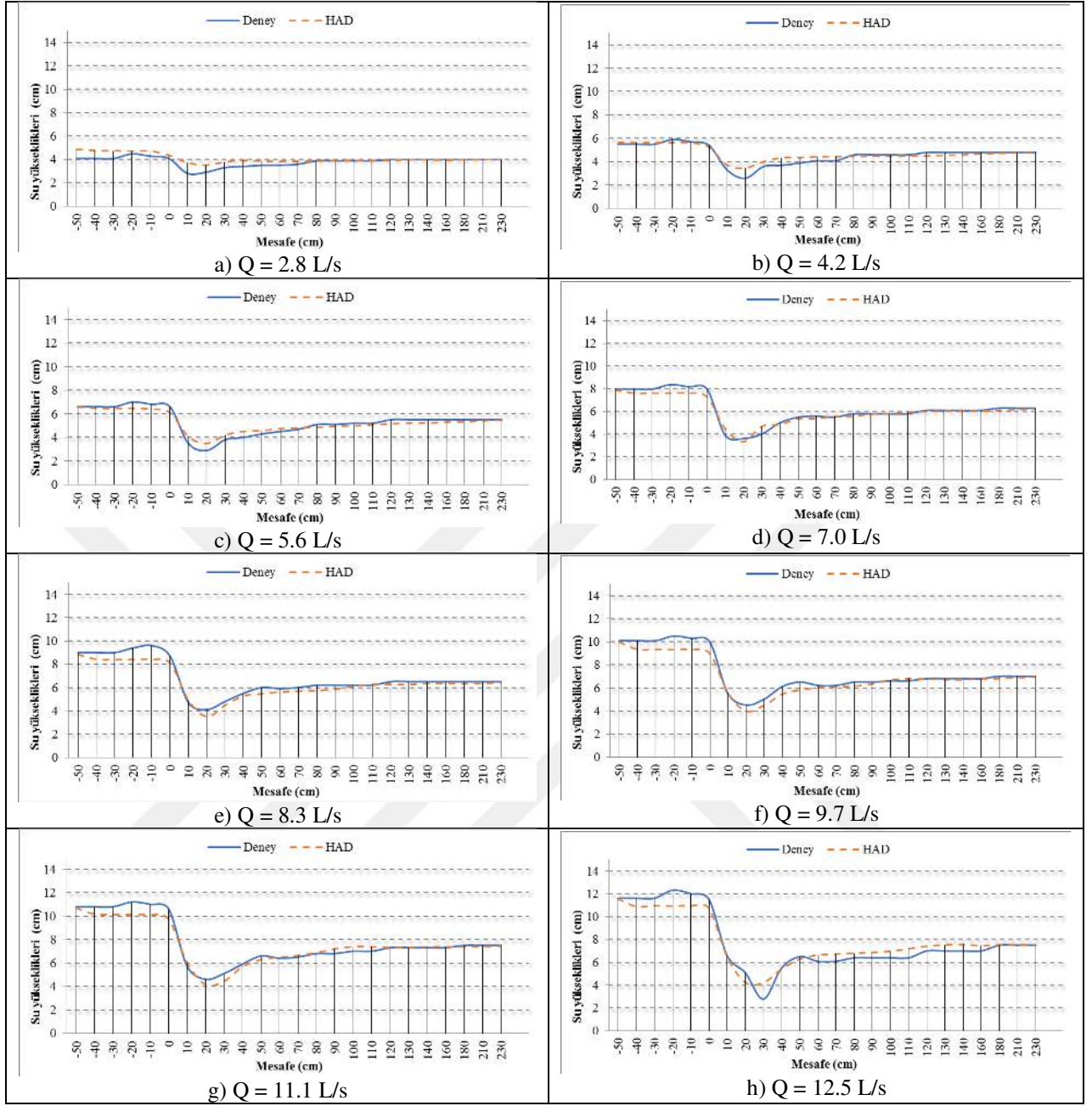
Şekil 3.14'de Tip-1, Tip-2 ve Tip-3 için maksimum debide ($Q=12.5$ L/s) HAD çıktıları alınmış olup, su hızı değişimleri görülebilir.



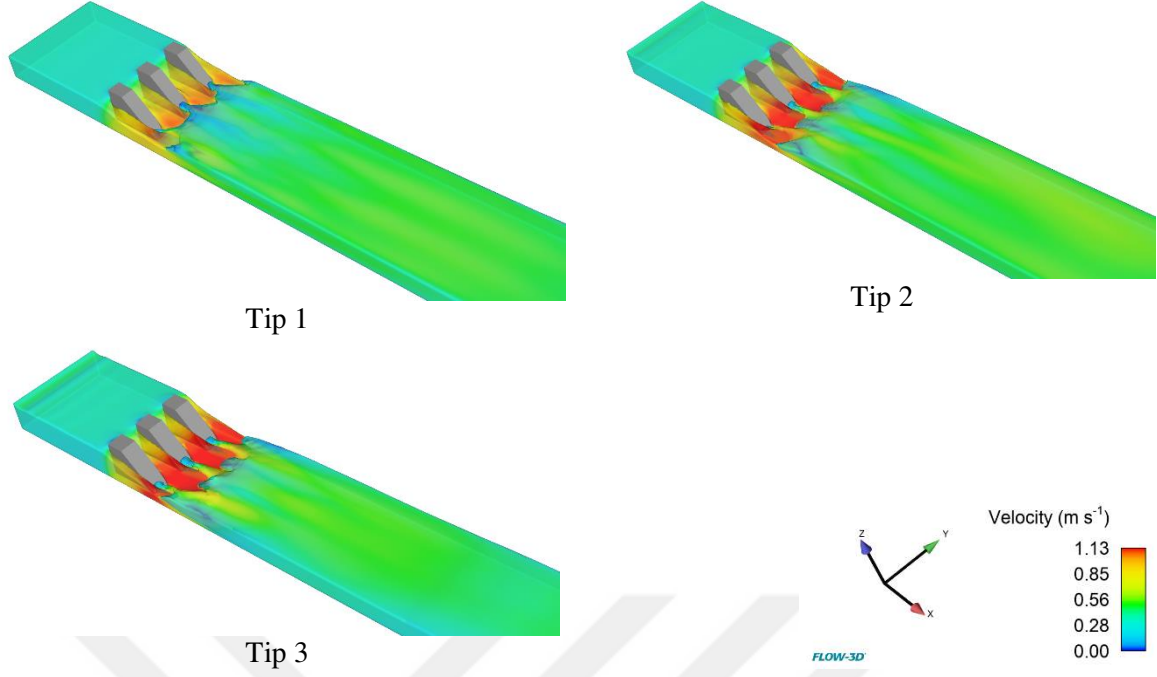
Şekil 3.11. Tip-1 kanal eğimi $J=0$ için farklı debilerde su yüzü profilleri deneysel-sayısal model karşılaştırmaları



Şekil 3.12. Tip-2 kanal eğimi $J=0$ için farklı debilerde su yüzü profilleri deneysel-sayısal model karşılaştırmaları



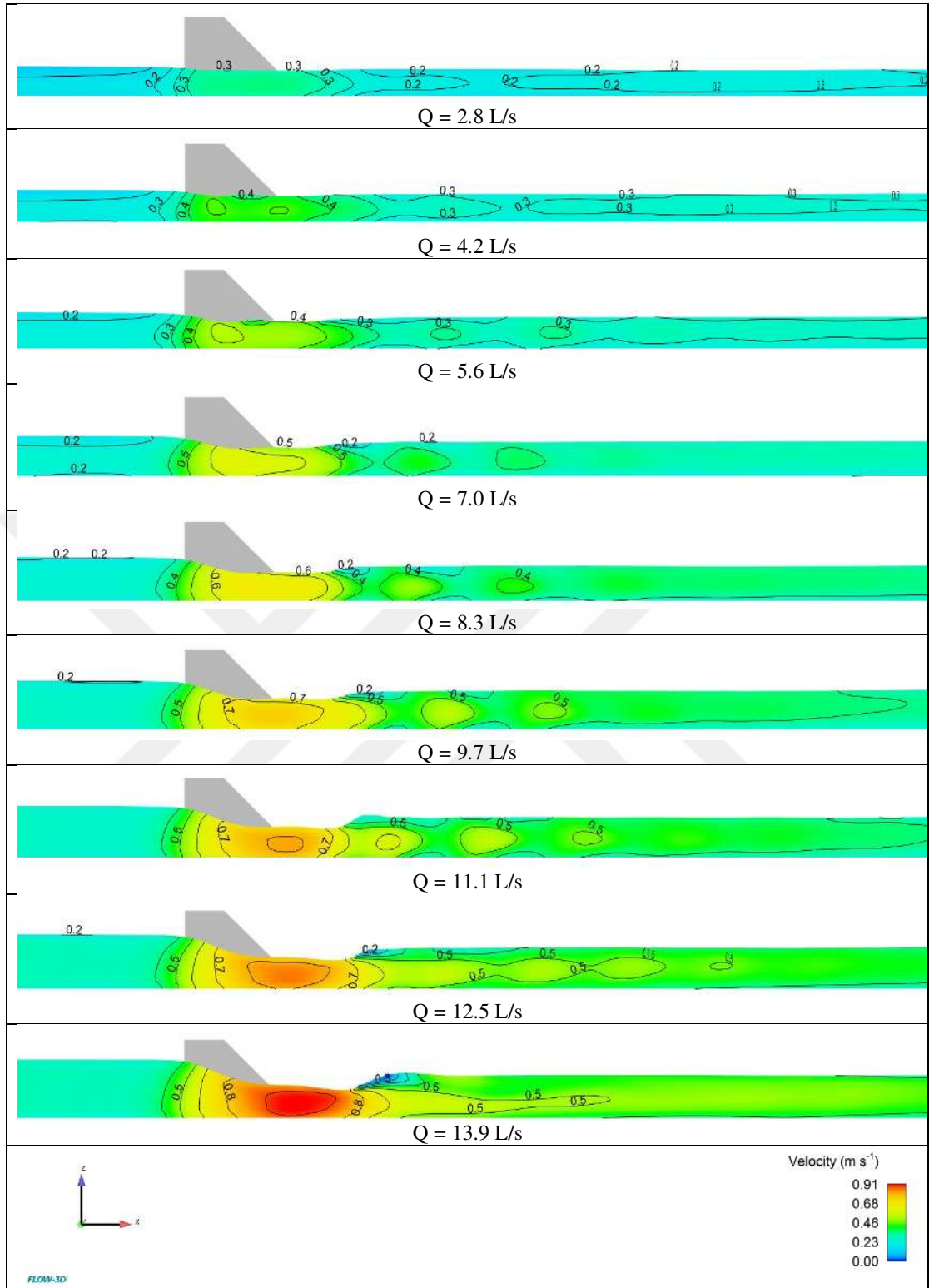
Şekil 3.13. Tip-3 kanal eğimi $J=0$ için farklı debilerde su yüzü profilleri deneysel-sayısal model karşılaştırmaları



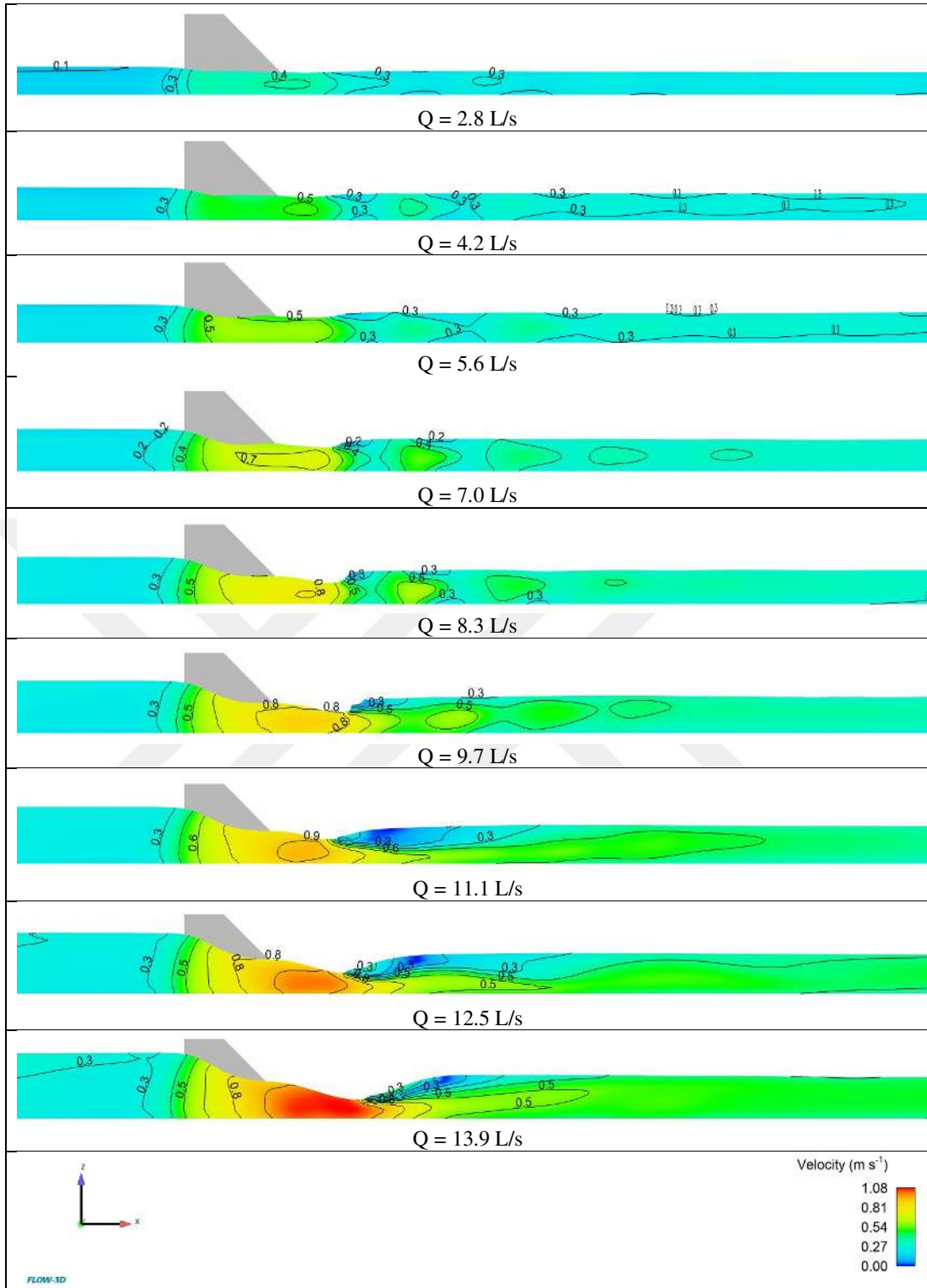
Şekil 3.14. Farklı eşik tipleri için maksimum debideki HAD çıktıları

3.2.2. Boykesit hız kontörleri

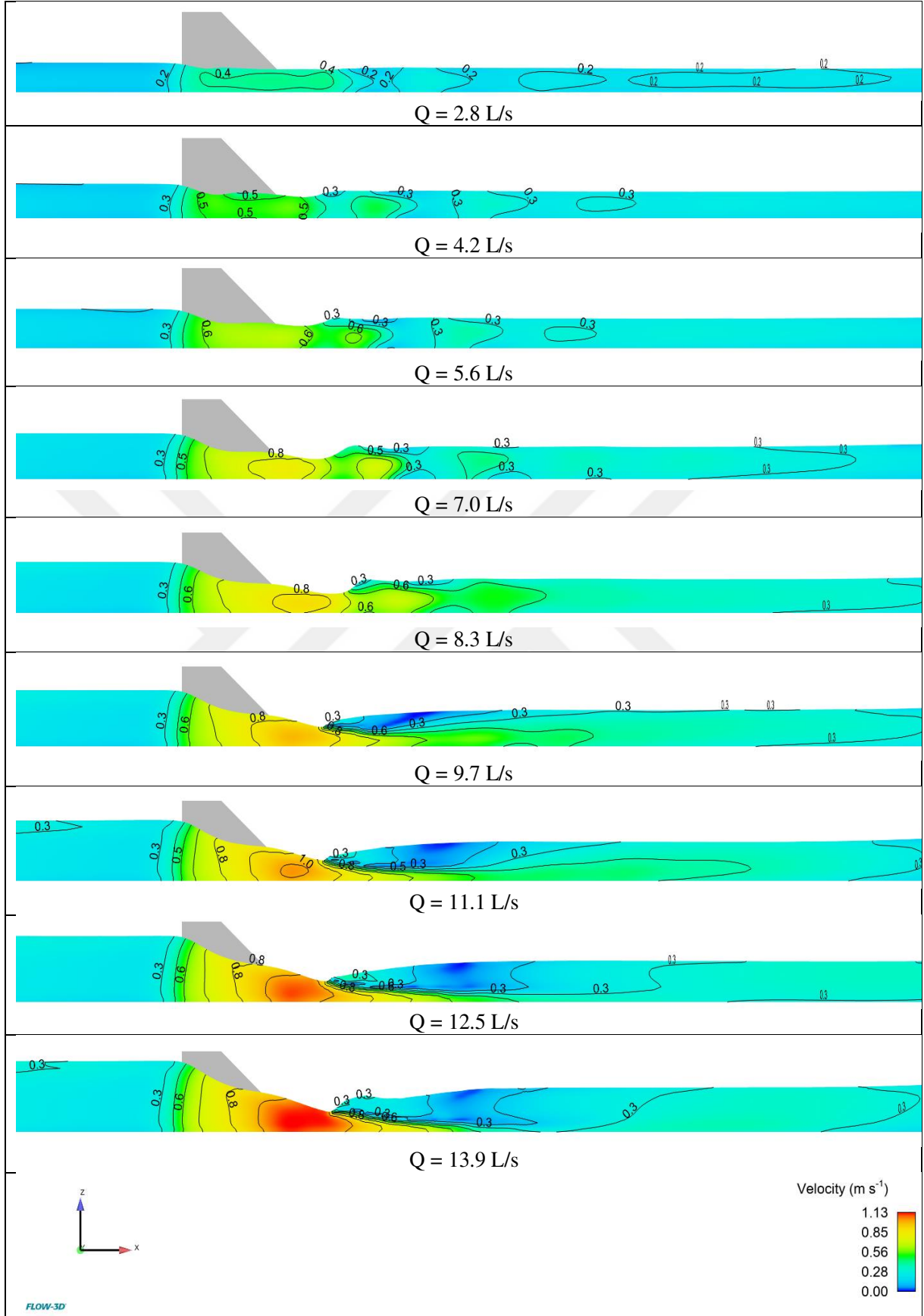
Üç boyutlu HAD analizlerinden elde edilen boykesit üzerindeki akım hızı kontörleri üç farklı blok tipi için sırasıyla Şekil 3.15-3.17’de verilmiştir. Şekillerden görüleceği üzere maksimum hızlar blok arasında su yüzeyinin azaldığı bölgelerde oluşmaktadır. Akım debisi arttıkça su hızlarındaki artışlar da görülmektedir. Tip-1 için $Q = 2.8 - 13.9$ L/s’lik debiler arasında maksimum akım hızları $0.3 - 0.8$ m/s aralığındadır (Şekil 3.15). Tip-2 ve Tip-3 için ise blok aralıkları daraldığından bu hızlar biraz daha artmakta, farklı debilerdeki maksimum hızlar yaklaşık olarak Tip-2 için $0.35-0.90$ m/s (Şekil 3.16), Tip-3 için ise $0.4 - 1.0$ m/s (Şekil 3.17) aralığında oluşmaktadır.



Şekil 3.15. Tip-1 için farklı debilerde hız kontörleri



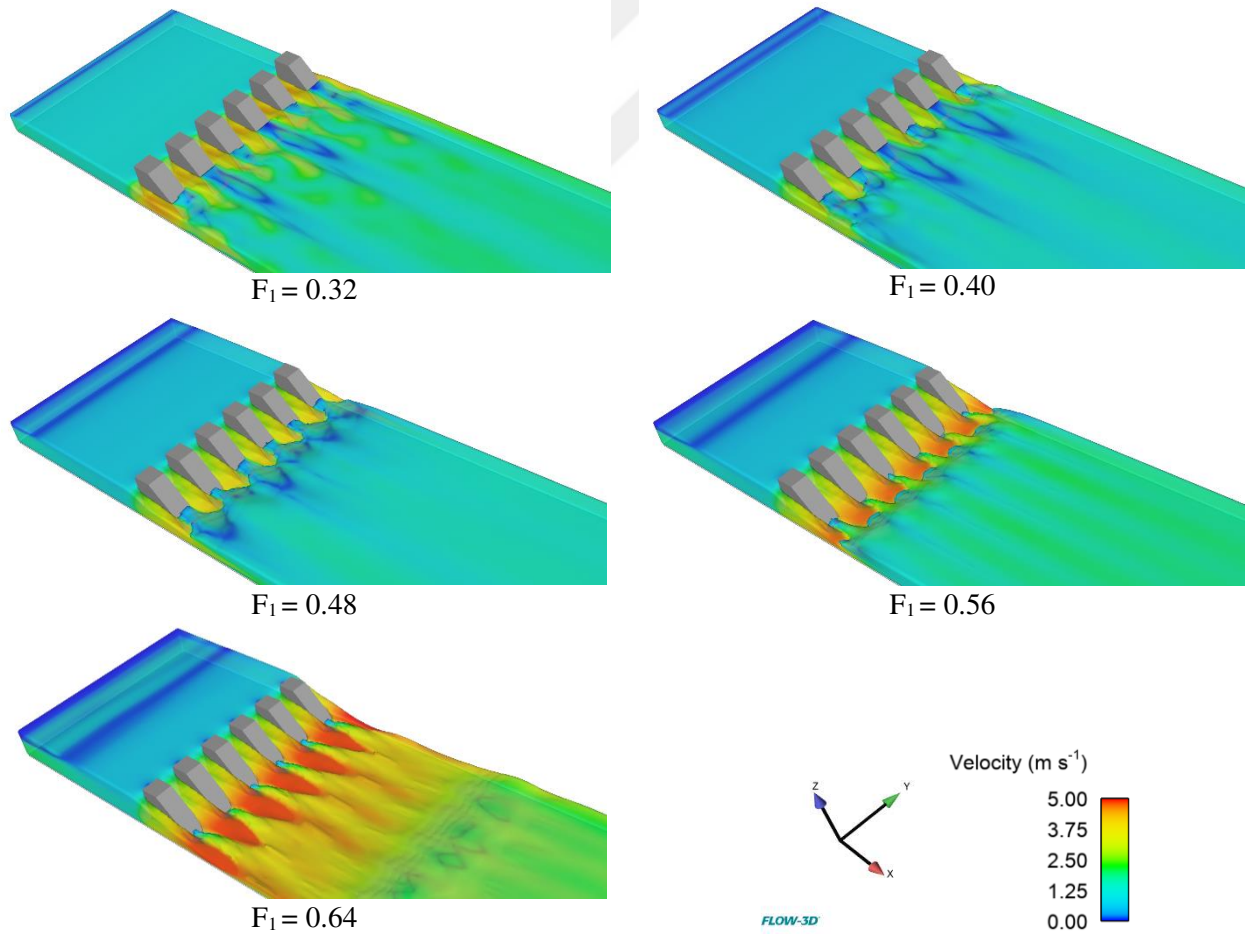
Şekil 3.16. Tip-2 için farklı debilerde hız kontörleri



Şekil 3.17. Tip-3 için farklı debilerde hız kontörleri

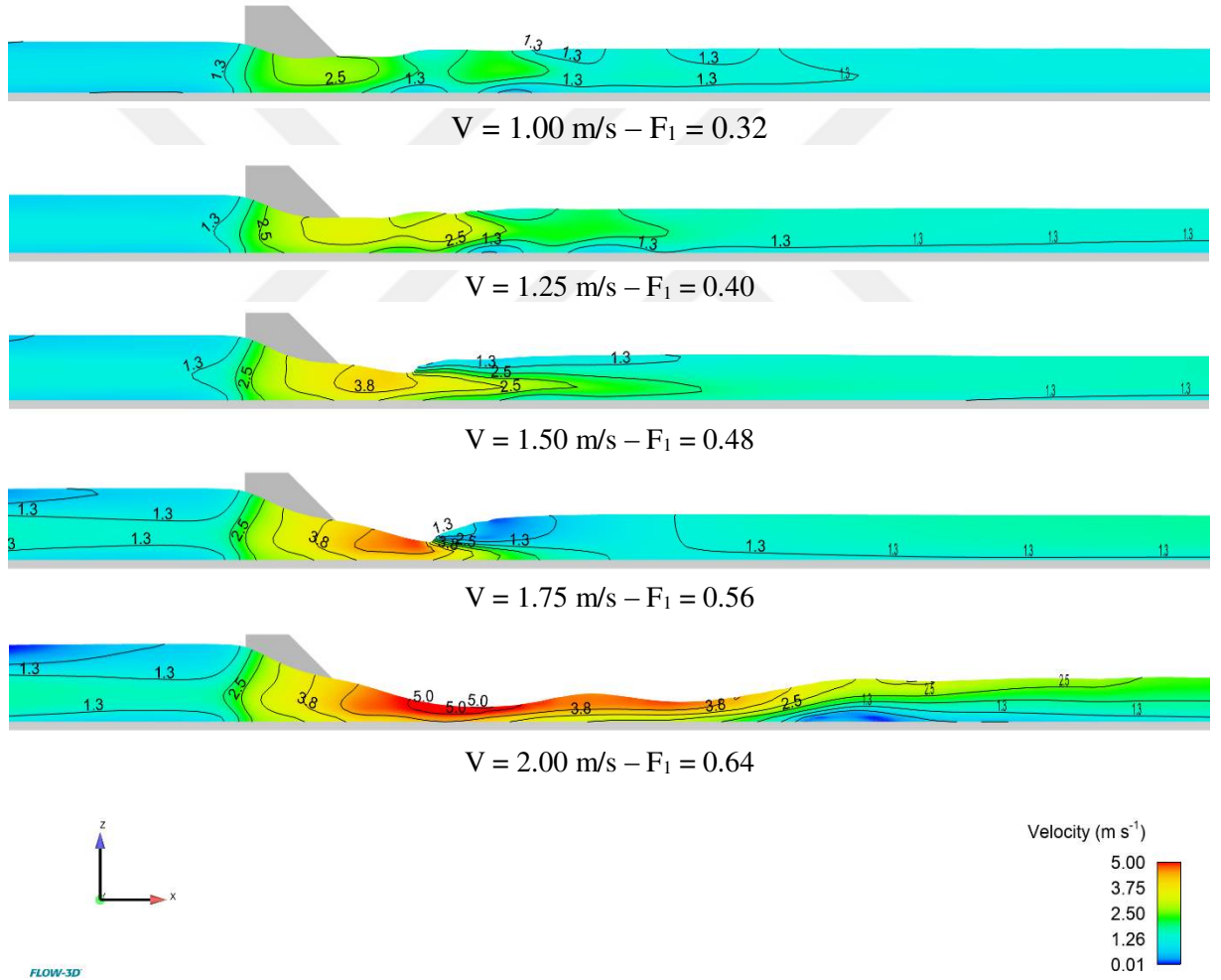
3.3. Sayısal Prototip Sonuçları

Deneysel çalışmada kullanılan model ölçeğini 1/15 kabul ederek prototip ölçeğinde oluşturulan geometriler FLOW-3D yardımıyla analiz edilmiş ve elde edilen prototip sonuçları Şekil 3.18’de sunulmuştur. Model deneylerinden farklı olarak 3 yerine 6 blok kullanılmıştır. 1/15 ölçeğine göre blok yüksekliği 2.00 m, blok genişliği 1.00 m, ve bloklar arası mesafe 1.00 m olarak alınmıştır. Bu tür tasarımlarda, birim debi dikkate alındığından genişliğin çok bir anlamı yoktur. Yine de birim genişlikte blokların akım genişliğince etkisini azaltmak için akım genişliği fazla tutulmuştur. Şekil 3.18’de görüldüğü gibi genel su yüzü profilleri deney sonuçlarıyla uyusmaktadır. Düşük debilerde hidrolik sıçrama belirsizken blokların hemen mansabında durgun akım bölgeleri ve düşük akım hızları görülmektedir. Şekil 3.18’deki akım durumları incelendiğinde; $F_1 < 0.4$ için pratik olarak sıçrama oluşmamaktadır. $0.4 < F_1 < 0.5$ sıçrama öncesi safha, $0.5 < F_1 < 0.6$ için düzgün hidrolik sıçrama safhası, $F_1 > 0.60$ için ise etkili hidrolik sıçrama safhası oluşmakta ancak bu safhada bilindiği ve görüldüğü üzere su yüzü düzgün değildir.



Şekil 3.18. Farklı Froude sayılarında prototip su yüzü perspektif görüntüler

Şekil 3.19’da ise boykesit üzerinde su yüzü profilleriyle birlikte hız kontörleri verilmiştir. Yukarıdaki açıklamaları destekleyici bir şekilde su yüzü değişimleri ve hidrolik sıçrama olayları burada daha belirgin bir şekilde görülmektedir. Hız değerlerine bakıldığında $F_1 = 0.32$ ’de geçiş bölgesindeki hız değerleri 2.5 m/s mertebesindeyken, $F_1=0.64$ için geçiş bölgesi (Sel rejimi) bölgesindeki akım hızları 5 m/s mertebelerine çıkmaktadır. Blokların hemen mansabında oluşan sel rejimi akımın Froude sayıları ise yaklaşık olarak $1 < Fr < 4$ aralığında değişmektedir. Froude sayılarına göre açık kanallarda hidrolik sıçrama safhaları ayrıca Erkek ve Ağralıoğlu (2013) tarafından tanımlanmıştır. Bu tezde tanımlanan F_1 sayısının blokların membaında ölçülen Froude sayısı olduğu unutulmamalıdır.



Şekil 3.19. Farklı Froude sayıları için prototip boykesit hız kontörleri

4. SONUÇ

Geçirgen Tersip bentleri, taşkın debi tekerrür sayılarının yüksek olduğu yerlerde yapılır. Genelde geçirgen tersip bentleri askıda ki katı maddelerin geçişini sağlarken büyük kaya-dal parçası gibi yüzen ve sürüntü katı maddelerin mansaba geçişinin engellenmesi için yapılan yapılardır.

Bu tez çalışmasında geçirgen tersip bentlerinin farklı akım koşulları altında hidroliği deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Katı madde geçişleri ve bundan dolayı oluşabilecek farklı akım koşulları tezin kapsamı dışındadır. Tezde yöntem olarak fiziksel laboratuvar modelleri ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği modelleri olmak üzere (sayısal model) iki farklı yöntem kullanılmıştır. Sayısal modeller deneysel model sonuçlarıyla kıyaslanarak, her iki modelden elde edilen bulgular detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Bu tez çalışmasında elde edilen önemli sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Üç farklı blok tipi için deneysel çalışmalar yürütülmüş ve farklı debi ve akım koşullarında su yüzeyi profilleri, akım derinlikleri ve hızları, akım enerjisi gibi büyüklükler elde edilmiştir.
- Üç farklı blok tipi için elde edilen su yüzü profillerinden genel olarak blokların arasında geçen akım nehir rejiminden sel rejimine geçmekte daha sonra hidrolik sıçramaya uğrayarak tekrar nehir rejimine geçiş yapmaktadır.
- Üç farklı tipin su yüzü profilleri üzerine etkisine incelendiğinde en fazla su yüzü dalgalanması ve hidrolik sıçrama uzunluğu Tip-2 ($t/s=0.8$) için gözlemlenmiştir. Daha sonra Tip-1 ($t/s=0.6$) ve en az etki ise Tip-3 ($t/s=1.0$) için gözlemlenmiştir.
- Kanal eğiminin arttırılması; mansap su yüzünün dalgalanmasını ve hidrolik sıçrama uzunluğunu arttırdığı tespit edilmiştir. Aynı debilerde düşük eğimlerde Froude sayısı düşük olduğundan hidrolik sıçrama bloklara daha yakın ve mansap su yüzü daha az dalgalı iken büyük eğimlerde hidrolik sıçrama daha uzakta ve mansap su yüzü daha fazla dalgalı bir şekilde gerçekleşmektedir. Kanal eğiminin bu etkisi debi büyüdükçe daha da belirginleşmektedir.
- Enerji sönümleme bakımından blokların akımın enerjisini önemli derecede azalttığı tespit edilmiştir. Bu enerji kayıplarının, akıma dik blok yüzey alanlarının akımda oluşturduğu direnç, blokların mansabında oluşan boyuna hidrolik sıçrama, blokların mansabında çıkan akımların kanala dik doğrultuda çarpışması sonucu oluşan enine sıçrama ve oluşan dalgalanma ve türbülans gibi nedenlerle olduğu değerlendirilmiştir.

- Oluşan enerji sönümlleme miktarı debi ve blok tiplerine bağlı olarak t/s oranı ile arttığı görülmüştür. Blok tiplerinden en yüksek $t/s=1.0$ değerine sahip olan Tip-3 en fazla enerji sönümllemesine sahip blok tipidir. Blokların enerji sönümlleme oranlarını %35 e kadar ulaştığı tespit edilmiştir. Enerji kırma özelliğiyle bu tür geçirimli tersip bentlerinin aynı zamanda iyi bir akım düzenleyicisi olduğu da göstermektedir.
- HAD analizlerinden elde edilen su yüzü profilleri deneylerle benzer değişimler göstermekle birlikte, mansap su yüzü dalgalanmalarının fazla olduğu Tip-1 ve Tip-2 için hidrolik sıçrama ve su yüzü dalgalanmalarının yeri bakımından çok başarılı olmamıştır. Bu farkların seçilen türbülans modeli, çözüm ağı yapısı, deneysel ve sayısal hatalardan kaynaklanmış olabileceği değerlendirilmiştir. Bununla birlikte Tip-3 için sayısal modellerden elde edilen su yüzü profilleri tüm debiler için deneysel ölçümlerle mükemmel bir uyum sağlamıştır.
- Sayısal modelin avantajı kullanılarak yapılan prototip ölçekli HAD analizlerinde Froude sayısının etkisi incelenmiştir. Üç boyutlu bu analizlerde mansap akımının su yüzündeki enine ve boyuna dalgalanmalar daha net bir şekilde gözlemlenmiştir. Memba Froude sayısı dikkate alınarak; $F_1 < 0.4$ için pratik olarak sıçrama oluşmamakta, $0.4 < F_1 < 0.5$ sıçrama öncesi safha, $0.5 < F_1 < 0.6$ için düzgün hidrolik sıçrama safhası, $F_1 > 0.60$ için ise etkili hidrolik sıçrama safhası oluşmakta ancak bu safhada bilindiği ve görüldüğü üzere su yüzü düzgün olmadığı tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, bu tez çalışma sonuçlarının tasarımcılar, DSİ gibi uygulamacı kurumlar ve akademisyenler için bu tür su yapıların hidrolik davranışını belirlemede faydalı olacağı beklenmektedir.

5. KAYNAKLAR

- Akçalı E, 2018. Taşkın ve Rusubat Kontrolünde Yenilikçi Uygulamalar. DSİ 22. Bölge Müdürlüğü Trabzon. 31–40
- Armanini A, Larcher M, 2001. Rational criterion for designing opening of slit-check dam. *Journal of Hydraulic Engineering*, 127(2): 94-104.
- Busnelli MM, Stelling GS, Larcher M, 2001. Numerical morphological modeling of open-check dams. *Journal of Hydraulic Engineering*, 127(2): 105-114.
- Campisano A, Cutore P, Modica C, 2014. Improving the evaluation of slit-check dam trapping efficiency by using a 1D unsteady flow numerical model. *Journal of Hydraulic Engineering*, 140(7): 04014024.
- Catella M, Paris E, Solari L, 2005. Case study: efficiency of slit-check dams in the mountain region of Versilia basin. *Journal of Hydraulic Engineering*, 131(3): 145-152.
- Çelik HE, Selek B, Dağdeviren M, Demir E, Biroğlu İ, 2017 Havza Islah Önlemleri Kapsamında Yeni Bir Uygulama, Süzücü (Geçirgen) Tersip Bentleri.
- Dinçsoy Y, 2008. Islah Sekisi ve Tersip Bentleri, DSİ Yayınları. Ankara.
- DSİ, 2017. DSİ-TRK Yazılımı ile Rüsubat Kontrolü. Ankara.
- DSİ, 26. Bölge Müdürlüğü web sitesi (<https://tr-tr.facebook.com/DSI.26.Bolge.Mudurlugu/posts/1124599621020539>) (Erişim Tarihi: 01.07.2021)
- Erkek C, Ağırlioğlu N. 2013. Su Kaynakları Mühendisliği, Beta Yayınları, 7. Baskı, S: 283.
- Flow Science. 2019. FLOW-3D User Manual. Theory, Flow Science, Inc.
- Flow-Science. 2016. FLOW-3D User Manual. v11.2. Flow Science Inc.
- Hacısalıhoğlu S. Islah şekilleri ve Tersip bentleri, KTÜ Orman Fakültesi Havza Amenajmanı Anabilim Dalı. (Erişim Tarihi: 26.06.2021).
- Hirt CW, Nichols BD, 1981. Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries. *J. Comput Phys.* 39 (1): 201–225.
- Kerim A, Sürme V, 2019. Taşkınlar Taşkın Koruma ve Kontrol Yapıları; Rize İlinde Örnek Çalışmalar. *Türk Hid. Der. (Tur. J. Hyd.)*.
- Kiliçer Ü, Özgüler H, 2002. Türkiye’de Taşkın Durumu. *Türkiye Mühendislik Haberleri*. 421–423:141-143.
- Lien H 2003. Design of Slit Dams For Controlling Stony Debris Flows, *International Journal of Sediment Research*, 18(1): 74-87.
- MGM, 2008. 1967-2008 yılları arasında taşkın meydana gelme sayıları, <http://www1.mgm.gov.tr/arastirma/dogal-afetler.aspx> (Erişim Tarihi: 06.01.2021).

- Piton G, Recking A, 2015. Design of sediment traps with open check dams. I: Hydraulic and deposition processes. *Journal of Hydraulic Engineering*, 142(2): 04015045.
- Piton G, Recking A, 2015. Design of sediment traps with open check dams. II: Woody Debris. *J Hyd Engrg*, 04015046(13).
- Shrestha BB, Nakagawa H, Kawaike K, Baba Y, Zhang H, 2012. Driftwood deposition from debris flows at slit-check dams and fans. *Natural Hazards*, 61(2): 577-602.

