İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ

TİROL VE COANDA TİPİ SU ALMA YAPILARININ TASARIMI VE İLBANK A.Ş. PROJELERİNDE UYGULANMASI

Cihan MARAŞ

UZMANLIK TEZİ

NİSAN 2017

İLBANK
TÜRKİYE'NİN YAPICI GÜCÜ

İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ

TİROL VE COANDA TİPİ SU ALMA YAPILARININ TASARIMI VE İLBANK A.Ş. PROJELERİNDE UYGULANMASI

Cihan MARAŞ

UZMANLIK TEZİ

Tez Danışmanı (Kurum)
Eprar ÖZEL ÇELİK

Tez Danışmanı (Üniversite)
Prof. Dr. Özgür ANIL

ETİK BEYAN

İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ Uzmanlık Tezi Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Cihan MARAŞ

04/04/2017

Tirol ve Coanda Tipi Su Alma Yapılarının Tasarımı ve İlbank A.Ş. Projelerinde Uygulanması

(Uzmanlık Tezi)

Cihan MARAŞ

İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ

Nisan 2017

ÖZET

Su alma yapıları, akarsu, baraj gölü, pınar vb. kaynaklardan suyu alarak, kanal ve tünel gibi iletim sistemlerine yönlendiren yapılar olarak tanımlanır. Bir su alma yapısı, gelen debiden bağımsız olarak istenen miktarda debiyi sisteme yönlendirebilecek ve çevre şartlarına herhangi bir olumsuz etki yaratmayacak şekilde tasarlanmalıdır. Kaynaktan alınan suyun daha temiz bir şekilde yönlendirilmesi, arıtma ve işletim süreçleri için büyük öneme sahiptir. Hidrolik, topografik ve jeoteknik şartlar su alma yapısının tipini belirleyen en önemli faktörlerdir. Nehir eğiminin ve sediment taşınımının yüksek olduğu nehirlerde karşıdan alışlı su alma yapılarının kullanılması uygun olmaması sebebiyle tirol ve coanda tipi su alma yapıları tercih edilmektedir. Izgaralar yardımı ile temiz su sisteme yönlendirilirken, sediment ve istenmeyen maddeler mansap tarafına atılır. Izgaralar arasından sisteme giren debiyi etkileyen çeşitli parametreler vardır. Bu çalışmada, tirol ve coanda tipi su alma yapılarının çözüm metotları irdelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında, tirol tipi ve coanda tipi savakların hidrolik tasarımı ve çözüm yöntemleri incelenmiştir. İkinci aşamada, verilen çözüm yöntemleri ile iki tip için de bir tasarım yapılmıştır. Üçüncü aşamada ise kullanım alanı aynı olan bu iki tip yapı, mevcut işletmede olan örneklerden faydalanılarak, birbiriyle çeşitli yönlerden karşılaştırılmıştır. Son olarak, İlbank A.Ş. projelerinde hangi tip su alma yapılarının tercih edilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Tirol, Coanda, Su Alma Yapısı, Izgara ile Su Alma

Sayfa Adedi : 63

Tez Danışmanı : Eprar ÖZEL ÇELİK, Prof. Dr. Özgür ANIL

Design of Bottom Rack and Coanda Intakes and Application on İlbank A.Ş. Projects

(Expertise Thesis)

Cihan MARAŞ

İLLER BANKASI ANONİM ŞİRKETİ

April 2017

ABSTRACT

Water intake structures are defined as structures that divert water which are taken from sources like river, dam reservoir, spring etc. to a transmission system like canal or tunnel. An intake structure must lead desired discharge independent from incoming discharge and without a negative environmental effect. Purity of water, taken from source has high importance on treatment and operation process. Hydraulic, topographical and geotechnical conditions are the most important factors that determine type of an intake structure. Traditional water intake structures are not suitable for rivers with high slope and sediment. Hence; bottom rack and coanda intakes are suggested. With the aid of racks, purer water leaded to system, moreover sediment and unwanted materials are sent to the downstream. There are various parameters which affect the amount of diverted discharge through racks. In this study, solution methods of bottom rack and coanda intakes are investigated and compared. Firstly, designs of bottom rack intakes and coanda intakes are studied. In second part, two different water intake structures are designed according to given solution methods in first part. At third stage, these two types, which have same area of application, are compared benefiting and existing operating projects. Finally, it is specified that, which type of water intakes structures should be prefered in İlbank A.Ş. projects.

Key Words : Bottom Rack, Coanda, Water Intake Structures, Thrash racks

Page Numbers : 63

Supervisor : Eprar ÖZEL ÇELİK, Prof. Dr. Özgür ANIL

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım sırasında sağladıkları desteklerinden ötürü tez danışmanlarım Eprar ÖZEL ÇELİK'e "İLBANK A.Ş.", Prof. Dr. Özgür ANIL'a "GAZİ ÜNİVERSİTESİ" teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ viii

ŞEKİLLERİN LİSTESİ ix

RESİMLERİN LİSTESİ x

SİMGELER VE KISALTMALAR xi

GİRİŞ 1

1. LİTERATÜR TARAMASI 5

2. TEORİK ÇÖZÜMLER 11
2.1. Tirol Tipi Su Alma Yapıları 11
2.1.1. Tirol tipi su alma yapılarının tasarımına etki eden faktörler 11
2.1.2. Tirol tipi su alma yapılarının çözüm yöntemleri 12
2.2. Coanda Tipi Su Alma Yapıları 18
2.2.1. Coanda tipi su alma yapılarının tasarımına etki eden faktörler 21
2.2.2. Coanda tipi su alma yapılarının çözüm yöntemleri 23

3. TİROL TİPİ VE COANDA TİPİ SU ALMA YAPILARININ SAYISAL ÇÖZÜM ÖRNEKLERİ 27
3.1. Tirol Tipi Su Alma Yapısı Sayısal Çözüm Örneği 28
3.2. Coanda Tipi Su Alma Yapılarının Sayısal Çözüm Örneği 39

4. TİROL VE COANDA TİPİ SU ALMA YAPILARININ İLLER BANKASI PROJELERİNDE UYGULANMASI 45
4.1. Izgara Kapasitesi 46
4.2. Bakım ve Temizleme 47
4.3. Donma Şartlarına Karşı Direnç 49
4.4. Canlı Yaşamı, Bakteri ve Alg Oluşumu 50
4.5. Dayanım 51
4.6. Maliyet 53

SONUÇ VE ÖNERİLER 57

KAYNAKLAR 61

ÖZGEÇMİŞ 63

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. φ ve β fonksiyonları çözümleri 17

Çizelge 3.1. Sabit enerji seviyesi ve sabit enerji yüksekliğine göre çözüm sonuçları 38

Çizelge 3.2. Coanda ve tirol tipi ızgara çözüm sonuçları 42

Çizelge 3.3. Coanda tipi su alma yapısı detaylı sonuç tablosu 43

Çizelge 4.1. Türkiye'deki mikro, mini ve küçük tip HES'lerin kuruluşlara göre dağılımı 45

Çizelge 4.2. Coanda tipi su alma yapısı tip, ebat ve fiyat tablosu 54

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 1.1. L_1 ve L_2 uzunluklarının gösterimi.....6

Şekil 2.1. Tirol tipi su alma yapısı ve ızgara tip kesiti.....11

Şekil 2.2. Izgara çubuk kesitleri.....12

Şekil 2.3. Sabit enerji seviyesi yöntemi ile ızgara hesabı.....13

Şekil 2.4. Sabit enerji yüksekliği yöntemi ile ızgara hesabı.....15

Şekil 2.5. Coanda tipi su alma yapılarının temel bileşenleri.....19

Şekil 2.6. Açılı yerleştirilmemiş ve yerleştirilmiş çubuklar.....20

Şekil 3.1. Tirol tipi su alma yapısı çözüm örneği çizimi.....28

Şekil 3.2. Sabit enerji seviyesi çözüm yöntemi ile tirol tipi su alma yapısı çözüm örneği çizimi.....29

Şekil 3.3. Sabit enerji yüksekliği çözüm yöntemi ile tirol tipi su alma yapısı çözüm örneği çizimi.....33

Şekil 3.4. Coanda tipi su alma yapısı çözüm örneği çizimi.....39

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 2.1. Coanda etkisini tanımlayan görseller.....18

Resim 2.2. Yapı bilgisi sekmesi.....25

Resim 2.3. Hızlandırıcı plaka özellikleri sekmesi 25

Resim 2.4. Izgara özellikleri sekmesi 26

Resim 2.5. Akış durumu sekmesi 26

Resim 2.6. Sonuç sekmesi 26

Resim 3.1. Tirol tipi su alma yapısı çözüm örneği ızgara detayı.....27

Resim 3.2. Coanda tipi su alma yapısı yapı ve hızlandırıcı plaka yazılım girdileri ...40

Resim 3.3. Coanda tipi su alma yapısı ızgara ve akış durumu yazılım girdileri.....41

Resim 3.4. Coanda tipi su alma yapısı sonuç sekmesi.....41

Resim 4.1. Coanda ve tirol tipi su alma yapıları.....47

Resim 4.2. İkizdere regülatörü tirol tipi su alma yapısı.....48

Resim 4.3. İkizdere regülatörü tirol tipi su alma yapısında akış düzeni bozulması....48

Resim 4.4. Kış mevsiminde işletmede olan bir coanda tipi su alma yapısı.....49

Resim 4.5. İkizdere regülatörü memba tarafı blokaj yapılmadan öncesi görünüşü....52

Resim 4.6. İkizdere regülatörü memba tarafı blokaj yapıldıktan sonra görünüşü.....53

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılan simgeler, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
a	Izgara çubuklarının orta noktaları arasındaki mesafe
C, C_d	Debi katsayısı
D	Izgara çubuklarının çapı
e, t	Izgara çubukları arasındaki mesafe
g	Yerçekimi ivmesi
h_0	Izgara membasındaki su yüksekliği
h_c	Kritik enerji yüksekliği
H_0	Izgara membasındaki enerji yüksekliği
H_c	Kritik enerji seviyesi
L	Izgara uzunluğu
L_1	Akış profilinin ızgara ile kesiştiği noktanın uzunluğu
L_2	Toplam ıslak ızgara uzunluğu
q_{max}	Maksimum debi
(q_i)	Izgaralar ile içeri alınan debi
(q_T)	Gelen toplam birim debi
(q_d)	Izgaralar ile içeri alınamayan, mansaba giden debi
y_{off}	Açılı yerleştirilmiş çubuklar arasında oluşan açıklık yüksekliği
θ, θ_0	Izgara'nın yerleştirilme açısı
θ_s	Coanda ızgaraların içbükey eğrilik derecesi
r	Coanda ızgaraların içbükey eğrilik çapı
λ	Eşitlik 1.1 için kullanılan debi katsayısı
ω	Izgara porozitesi
ϕ	Çubukların birbirne göre yerleştirme açısı
w	Çubuk genişliği
ψ	Çubuklar arasındaki mesafenin, orta noktaları arasındakine oranı
μ_s, μ_m	Daralma katsayısı

Bu çalışmada kullanılan kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklamalar
A.Ş.	Anonim Şirketi
USBR	United States Bureau of Reclamation

GİRİŞ

Su alma yapıları, akarsu, baraj, regülatör gibi kaynaklardan suyu alıp iletim sistemlerine yönlendirilen yapılardır. Su alma yapılarının giriş bölümleri su alma olarak adlandırılır.

Su alma yapılarının tasarımında düzenli akım koşullarının sağlanması hedeflenmektedir. Tasarım debisinin her zaman sisteme alınabilmesi, su alma yapısının ve iletim hattının taşkın sırasında zarar görmemesi, akım ile taşınan istenmeyen cisimlerin ve canlıların sisteme girişinin engellenmesi, işletme ve bakımının kolay olması su alma yapısı tipinin seçimini etkileyen en önemli özelliklerdir.

Bir su alma yapısı istenen debiyi, istenmeyen maddelerden ayrıştırarak, çevreye olumsuz etki yaratmayacak ve en az enerji kaybı ile yönlendirecek şekilde tasarlanmalıdır. Projelendirilen tasarımın, işletim ve uygulama aşamasında beklenen sonuçları vermesi tasarımın kalitesini belirler. Bu sebeple, teorik hesaplamaların yanı sıra günümüzde birçok üniversitede, ilgili kuruluşlarda ve kamu kurumlarında bu konu ile çeşitli deney çalışmaları yapılmaktadır. Var olan tasarımların ve yeni tasarımların performansı bu çalışmalar ile ölçülmekte ve mevcut işletmede olan projelerden de faydalanarak en uygun şekil verilmektedir.

Depolama alanı olmaması dolayısıyla, nehir tipi regülatörlerin en büyük problemi su ile taşınan sedimenttir. Su ile taşınan parçalar, işletim ve arıtma aşamasında birçok probleme sebep olduğundan, bu maddelerin sisteme girişi istenmemektedir. Özellikle nehir eğiminin yüksek olduğu durumlarda, gerek sediment taşınımının çok yüksek olması gerekse topoğrafyanın klasik karşıdan alışlı su alma yapılarının inşasına uygun olmamasından dolayı farklı tip su alma yapılarının tercih edilmesi gerekmektedir. Bu tip durumlarda tabandan ve ya dipten alışlı su alma yapıları olarak adlandırılan ızgara ile su alma sistemleri mevcut sorunların çözümünde çok büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Genel olarak tirol ve coanda tipi olmak üzere iki tip ızgara sistemi öne çıkmaktadır.

Tirol tipi ve coanda tipi su alma yapıları hidrolik ve topografik koşulların zorlu olması durumunda, en az sediment miktarı ile istenen debiyi elde edilebilecek verimli su

alma yapıları olarak bilinirler. İçme suyu ve sulama suyu temini, nehir tipi hidroelektrik santralleri, yağmursuyu drenajı başta olmak üzere sediment sorunu teşkil eden projelerde sık sık tercih edilirler.

Tirol tipi su alma yapıları, akışa paralel olarak yerleştirilen eğimli ızgaraların yardımıyla suyun büyük taşlar, dal, kütük ve yaprak gibi sistemi olumsuz etkileyecek maddelerden arındırılmış olarak toplanmasını sağlamaktadır. Izgaralar ve toplama kanalından oluşan sistem orifis akımı etkisi ile çalışmaktadır. Izgaralar belirli bir açı ile yerleştirilerek, istenmeyen maddelerin ızgara üzerindeki birikiminin engellenmesi hedeflenmektedir. Izgara çubuklarının arasındaki mesafeden daha küçük boyutlara sahip olan ve toplama kanalına giren parçalar için bir çökeltim havuzu yapılması gerekmektedir. Çökeltim havuzu ile sedimentten arındırılan su sisteme cazibeli olarak yönlendirilmektedir.

Coanda tipi su alma yapıları, hızla ilerleyen akımın doğru bir yol izlemek yerine, adhezyon kuvvetlerinden dolayı yakınındaki bir yüzeye yapışarak, o yüzeyin eğimini izleyerek ilerlemesi ilkesine göre çalışmaktadır. Çubuklar arasındaki mesafenin tirol tipi ızgaralara göre çok daha az olması sebebiyle coanda tipi ızgaralar ile alınan su, ikinci bir filtre mekanizmasından geçmeden doğrudan sisteme dahil edilebilmektedir. Sistem hızlandırıcı plaka, toplama kanalı, taşıyıcı kafes ve coanda tipi ızgalardan oluşmaktadır.

Tirol tipi su alma yapılarında sanayi tipi ızgaralar kullanılabilirken, coanda tipi ızgaraların, içbükey olarak tasarlanabilmesi ve çubukların birbirine göre açılı yerleştirilebilmesi sebebiyle ile özel üretim ızgaralardır.

Tirol tipi savaklar ülkemizde uzun bir süredir hidroelektrik santralleri, içmesuyu, sulama suyu projelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. İlbank A.Ş. Su Alma Yapıları Projesi Teknik Şartnamesi'nde tirol tipi su alma yapılarının bileşenlerinin neler olduğu belirtilmiş olup; ızgara, toplama kanalı ve çökeltim havuzu tasarımında dikkat edilmesi gereken hususlar ile beraber bu tip yapılarda karşılaşılan problemlere değinilmiştir.

Coanda tipi su alma yapıları ise, ülkemizde ve İlbank A.Ş. projelerinde henüz tam olarak yer edinememesine rağmen, yurtdışında gerek hidrolik, gerekse ekonomik performanslarından dolayı sık sık tercih edilmektedir. Tirol tipi su alma yapılarına gelişmiş bir alternatifi olarak tasarlanan bu tip yapıların İlbank A.Ş. projelerinde de kullanılması,

uygulama ve işletim süreçlerinin incelenmesi, projelerin daha güncel olmasına katkı sağlamak ile beraber, uygulanacak yeni tip yapılar ile teknik deneyimler kazanılacaktır.

Bu tezin amacı, tirol tipi ve ya coanda tipi su alma yapısı tasarlamak isteyen mühendislere bir tasarım rehberi sunmaktır. Bu iki tip yapının, hidrolik tasarımı ile ilgili hesaplama yöntemleri ile beraber, yapıların birbirine göre avantajları sunulacaktır. Ülkemizde kullanımı yaygın olmayan daha yüksek performanslı coanda tipi su alma yapılarının İlbank A.Ş. projelerinde, tirol tipi su alma yapılarına alternatif olarak yer alması hedeflenmektedir. Bu amaçla çeşitli çözüm yöntemleri incelenmiş, konu ile ilgili yapılan deney sonuçlarından ve mevcut işletmede olan projelerden yararlanılmıştır.

1. LİTERATÜR TARAMASI

Izgara üzerindeki serbest yüzey akımını hesaplayabilmek için sabit enerji yüksekliği varsayımı ve geleneksel orifis denklemi ile bir sayısal yaklaşım geliştirilmiştir [1].

Izgara üzerinde enerji kaybının olmadığını varsayarak, seçilen birim debiye (q_T) göre, ızgara uzunluğunu hesaplamak için Eş. 1.1'deki denklem türetilmiştir[2].

$$L = 2{,}561\frac{q_T}{\lambda\sqrt{h_0}} \tag{1.1}$$

Eş. 1.1'de λ debi katsayısını, h_0 ızgaranın membasındaki su yüksekliğini ifade etmektedir.

Enerji çizgisinin ızgaraya paralel olduğu varsayımı ile sadece yatay ızgaralarda kullanılmak üzere, ızgara boyunu belirlemek için ise Eş.1.2'deki denklem türetilmiştir[3].

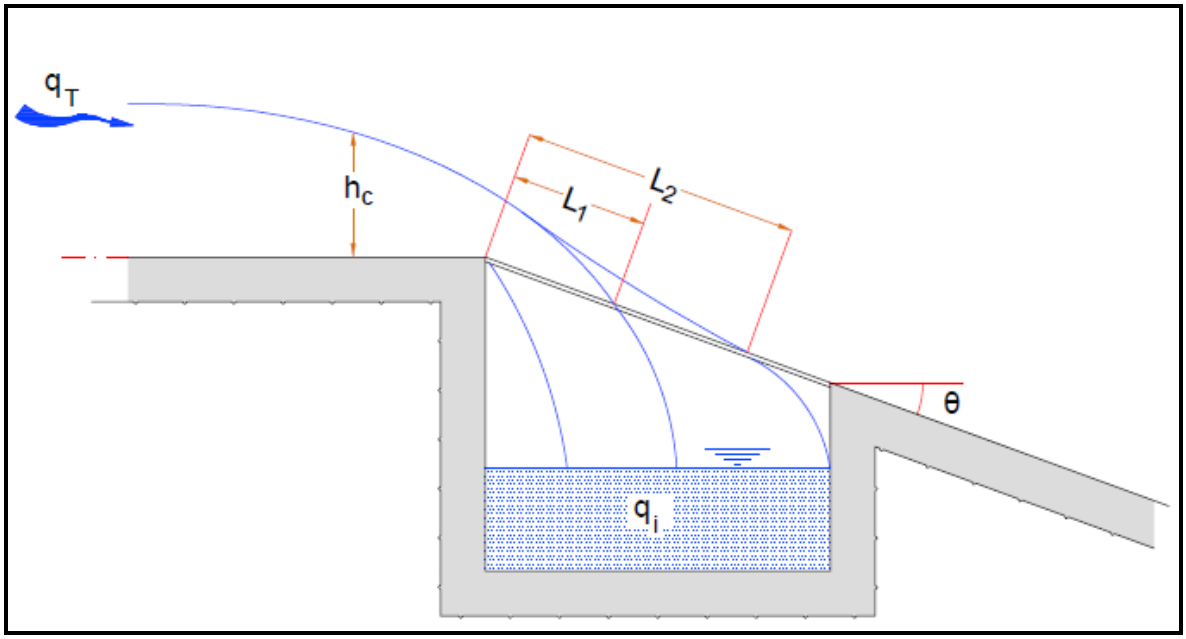
$$L = 1{,}185\frac{H_c}{\mu_m \psi} \tag{1.2}$$

Eş. 1.2'de H_c ızgara üzerindeki akımın specific enerji yüksekliğini, μ_m daralma katsayısını ve ψ ise iki çubuğun arasındaki mesafenin, iki çubuğun orta noktaları arasındaki mesafeye oranını ifade etmektedir.

Enerji çizgisinin ızgaraya paralel olduğu varsayımı ile yapılan gözlemler, üstü yarım daire, dikdörtgen kesitli çubuklardan oluşan daha büyük bir model ile yapılan deneyler sonucunda doğrulanmış ve önemli bir değişiklik bulunamamıştır. [4].

Viyana Teknoloji Üniversitesi Hidrolik Laboratuvarı'nda 1:10 ölçekli bir tirol tipi su alma yapısı modeli inşa edilmiştir. Islak ızgara uzunluğunu ölçmek için, 0^o'den 30^o'ye kadar değişen dört farklı ızgara eğiminde, 5 farklı debi [q_T= 0,25; 0,50; 1,00; 1,50; 2,00 m^2/s] ile bir seri deney düzenlenmiştir. Deneylerin sonuçlarına göre, iki farklı uzunluk

gözlemlenmiştir. Bkz. Şekil 1.1'de L_1 ızgara aksının, su akımı ile kesiştiği uzunluk, L_2 ise ızgara üzerindeki toplam ıslak uzunluk olarak tanımlanmıştır[5].



Şekil 1.1. L_1 ve L_2 uzunluklarının gösterimi

Izgara üzerindeki serbest yüzey akımını ve ızgaraları ile sisteme alınabilecek debiyi hesaplamak için yapılan çalışmalar derlenerek sabit enerji seviyesi ve sabit enerji yükü hipotezlerine dayanan teorik çözümler sunulmuştur[6].

Coanda tipi su alma yapılarının, değişen ızgara geometrisi ve Froude numarasına göre debi kapasitelerinin değişimini belirlemek üzere sayısal model hazırlanmıştır[7].

Aralıkları 1,00 mm, birbirine göre açılı yerleştirilmiş çubuklar ile hazırlanan model üzerinde çeşitli testler yapılmış ve coanda tipi su alma yapılarının hidrolik performansını öngören teorik hesaplama modeli sunulmuştur[8].

Bureau of Reclamation çatısı altında yapılan çalışmalar bir araya getirilerek coanda tipi su alma yapıları için bir tasarım rehberi hazırlamıştır[9].

Porozite, eğim ve ızgara geometrisinin çubuklar arasından geçen akıma hidrolik etkisini araştırmak bir seri deney düzenlenmiştir. 7,0 m uzunluğunda, 0,5 m genişliğinde bir kanal kullanılmıştır. Deneyler her çeşitli geometrik özelliklere sahip ızgaralar ile tekrar

edilmiştir. Çapları 12 mm ve 6 mm, uzunlukları 0,60 m ve 0,45 m olan çubuklar, birbirine 6 mm ve 3mm aralıklarla yerleştirilmiştir. Taban eğiminin etkisini gözlemlemek için sekiz farklı eğimde [θ= 0°, 7, 19°, 28°, 35°, 39°, 44° ve 51°] test edilmiştir. Test sonuçlarına göre su yüzeyi profili ve hız dağılımı ölçülmüş olup, düşük ve yüksek eğimli düzenekteki su yüzü profillerinin neredeyse birebir olduğu gözlemlenmiştir. Deney sonuçları ve literatürdeki diğer veriler kullanılarak toplam debinin bir fonksiyonu olarak bağıl ızgara uzunluğunu (L_2/H_c) hesaplayan bir denklem (Eş. 1.3) türetmiştir. L_2 gelen tüm debinin ızgaralardan tarafından içeri alınabildiği ıslak ızgara uzunluğunu ifade etmektedir[10].

$$C_d \omega\left(\frac{L_2}{H_o}\right) = 0{,}83 \tag{1.3}$$

C_d debi katsayısını, H_o ızgaranın membasındaki enerji yüksekliğini, ω ızgara porozitesini (çubuklar arasındaki mesafenin toplam kanal genişliğine oranını) ifade etmektedir.

Debi katsayısının (C_d), ızgara porozitesine (ω) bağlı olarak 0,87 ve 1,10 arasında değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir.

Daire kesitli çubuklu ızgaraların üzerindeki sel ve nehir rejimindeki akımların için debi katsayısı (C_d) ile ilgili aşağıdaki ifade aşağıdaki şekilde verilmiştir [11].

$$C_d = 0{,}53 + 0{,}4\log\left(\frac{D}{e}\right) - 0{,}61\tan\theta \tag{1.4}$$

Eş. 1.4'te D çubukların çapını, e çubukların arasındaki mesafeyi, θ ise ızgaranın eğimini ifade etmektedir.

Yapılan bir takım deneylerle dikdörtgen kesitli çubukların performansı test edilmiştir. Çalışma sonucunda, ızgara boyunca specific enerji neredeyse sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Çalışmalarının başka bir aşamasında, dikdörtgen kesitli çubukların debi katsayısı C_d, Eş.1.4'teki değerler ile karşılaştırılmış ve verilen değerlerin aşırı olduğu gözlemlenmiştir. Dikdörtgen kesitli çubuklar için türetilen debi katsayısı aşağıdaki şekilde belirlenmiştir[12].

$$C_d = 0{,}1296\left(\frac{t}{e}\right) + 0{,}4284(\tan\theta)^2 + 0{,}1764 \qquad (1.5)$$

Eş. 1.5'te t çubukların kalınlığını ifade etmektedir.

Dikdörtgen kesitli çubuk seçilmesi durumunda Eş.1.5'in kullanılması gerektiği, daha kesin bir değer için daha fazla deneysel veri ve arazi verisine ihtiyaç duyduğu belirtilmiştir[12].

Izgara eğiminin ve açıklığının, yönlendirilen debi üzerindeki etkisini araştırmak üzere 8,0 m uzunluğunda, 60 cm genişliğinde ve 60 cm yüksekliğinde bir kanal kullanarak bir seri deney yapılmıştır. 6 ve 8 mm çaplara, ve %30, %35 ve %40 açıklıklara sahip altı farklı deney düzeneği 10^o, 20^o, 30^o ve 40^o'lik dört farklı açı ve beş farklı debi ile test edilmiştir. Yönlendiren debinin, toplam debiye oranına etki eden faktörlerin sadece çubuk açıklığı ve eğimi olduğu gözlemlenmiştir. Deneylerin sonucunda debi oranının, açıklık arttıkça ve ızgara eğimi 30^o'ye kadar arttıkça arttığı gözlemlenmiştir. Açıklık %40 açıklıkta ve ızgara eğimi 30^o olduğunda 0,8 ile en yüksek debi oranı elde edilmiştir. Deneyler, sediment ile tekrarlandığında değerlerin azaldığı, ızgaraların tıkanmasından dolayı debi oranının %10 kadar düştüğü görülmüştür[13].

Orta Doğu Teknik Üniversitesi hidromekanik laboratuvarına, tirol tipi su alma yapıların hidrolik özelliklerini belirlemek için 1 cm çaplı daire kesitli çubuklar kullanılarak deney düzeneği oluşturulmuştur. Deneyler 3 mm, 6 mm ve 10 mm çubuklar arası mesafe ve $4{,}8^o$; $9{,}6^o$ ve $14{,}5^o$ ızgara eğimleri için tekrarlanmıştır[14].

Aynı düzenek ile 37^o, $32{,}8^o$ ve 27.8^o lik eğimlere sahip delikli metal plakaları test edilmiştir. Metal plakalar 3 mm, 6mm ve 10mm çapında delikler ile tekrarlanmıştır[11].

Orta Doğu Teknik Üniversitesi hidromekanik laboratuvarında yapılan deneyler sonucunda debi katsayısının C_d, yönlendirilen debiye ve boyutsuz ıslak ızgara uzunluğuna göre değişimlerini gösteren grafikler üretilmiştir. Tasarım değerleri belirlendikten sonra, grafikleri kullanarak yönlendirilen debi bulunabilmektedir.

Coanda tipi ızgaralar üzerinde değişen derinlik, hız ve Freoude numarası değerlerine göre debi katsayısını hesaplamak üzere bir takım deneyler yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda daha önceden belirlenen debi katsayısı ile ilgili formülün yeterli olmadığını belirtmiş olup; ortaya çıkan yeni veriler ışığında çalışmalar güncellemiştir[15].

Coanda tipi ızgaraların zorlu kış şartlarındaki performansı gözlemlemiştir. Norveç'te buz laboratuvarına inşa edilmiş 2 mm kalınlığında,1 mm aralıklarla yerleştirilmiş çubuklardan oluşan panele sahip olan bir coanda tipi su alma yapısında hidrolik ölçüm aletleri, çevrimiçi kamera kullanarak ve saha gözlemleri yaparak çalışılmıştır. Çalışmaları sonucunda, ızgaraların soğuk kış koşullarında zaman zaman kapasitesinin düşmesine rağmen performanslarının iyi olduğunu belirtilmiştir[16].

2. TEORİK ÇÖZÜMLER

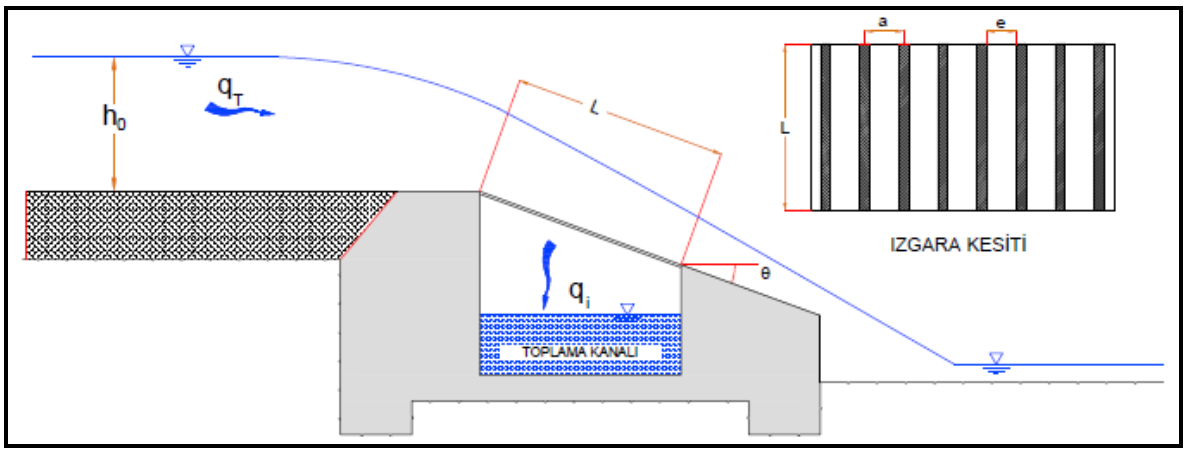
Bu bölümde tirol tipi su alma ve coanda tipi yapılarının performansına yönelik teorik çözümler işlenecektir. Bu yöntemler ile yönlendirilmek istenen tasarım debisine göre çubukların uzunluğu, aralığı, iç bükeylilik derecesi, yerleştirme açısı gibi değişkenler belirlenebilmektedir.

2.1. Tirol Tipi Su Alma Yapıları

Akış yönüne paralel olarak yerleştirilen ızgaralar, istenmeyen madde girişini engelleyecek, aynı zamanda istenen debiyi içeri alacak şekilde boyutlandırılmalıdır.

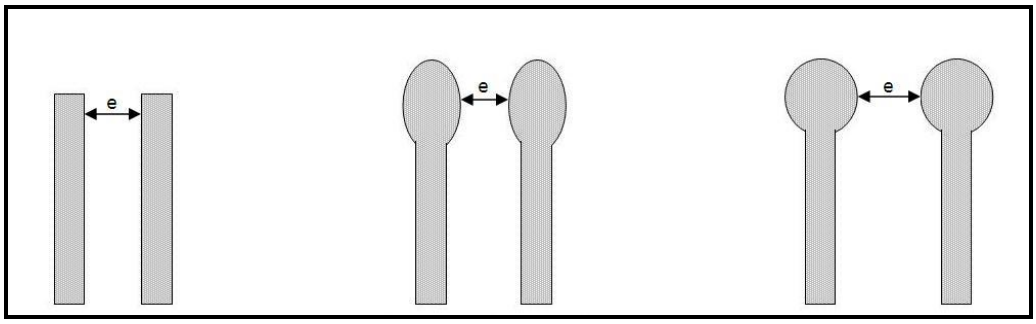
2.1.1. Tirol tipi su alma yapılarının tasarımına etki eden faktörler

Temel tasarım değişkenleri iki çubuk arasında mesafe (e) ve iki çubuğun orta noktaları arasındaki mesafedir (a) (Şekil 2.1) Bu mesafeleri ızgaralardan içeri girmesinde mahsur görmediğimiz sediment taneciklerinin boyutları belirler.



Şekil 2.1. Tirol tipi su alma yapısı ve ızgara tip kesiti

Izgara çubuk kesitleri Şekil 2.2.'de gösterilmiştir. Dikdörtgen kesitli çubuklar sık sık tıkandığından dolayı kullanımı önerilmemektedir (Şekil 2.2.a). Elips kesitli çubuklar daha rijit ve verimlidir (Şekil 2.2.b). Diğer profillerle karşılaştırıldığında, sediment parçalarının etkisine karşı direncine ve tıkanmaya karşı en uygun kesit daire kesitli çubuklardır[17] (Şekil 2.2.c).



(a) (b) (c)

Şekil 2.2. Izgara çubuk kesitleri

Detay çalışmaları yapılırken, belirlenmesi gereken birkaç parametre mevcuttur. Kaynağın debisi, tasarım debisi, askıda ve çökelmiş sedimentin fiziksel özellikleri tasarımda göz önünde bulundurulmalıdır.

Izgara uzunluğunun belirlenebilmesi için gelen birim debinin bilinmesi gerekmektedir. Izgara arasından geçecek debinin hesabı yapı üzerindeki su yüzü profiline bağlıdır. Yönlendirilen debiden dolayı toplam debideki azalma, çubukların üzerindeki sürtünme ve yüzey gerilimi etkilidir.

2.1.2. Tirol tipi su alma yapılarının çözüm yöntemleri

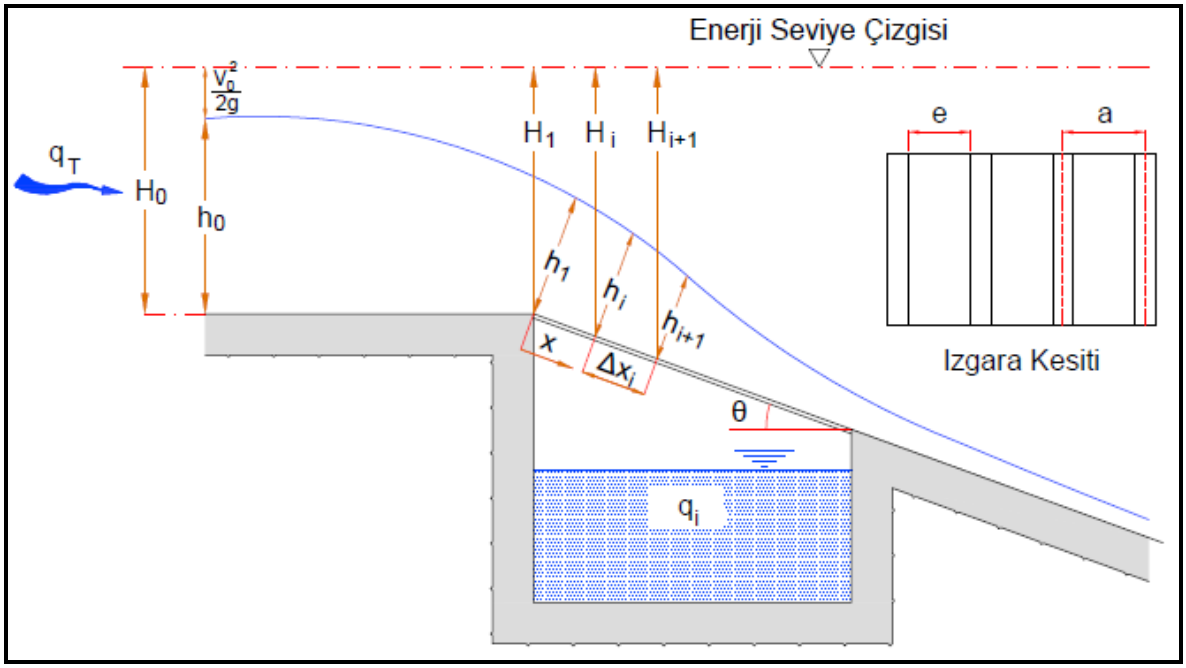
Tasarıma etki eden etkenler göz önünde bulundurulduğunda, yönlendirilen debinin hesaplanması zor bir hal almaktadır. Bu sebeple, bu konu üzerine çalışan araştırmacılar, sürtünme alanının küçüklüğü sebebiyle sürtünme etkisini, yüzeysel gerilmelerin etkisi ihmal etmiştir. Yüzeysel dalgalanmalar da dikkate alınmayarak iki çözüm yöntemi önerilmiştir.

1. Sabit Enerji Seviyesi
2. Sabit Enerji Yüksekliği

Sabit Enerji Seviyesi yönteminde, enerji seviyesi çizgisi yatay, sabit enerji yüksekliği yönteminde ise enerji seviyesi çizgisi ızgaraya paralel olacağı öngörülmüştür[6].

Sabit Enerji Seviyesi Yöntemi

Enerji seviyesi çizgisinin sabit olduğu kabul edilen bu yöntemde öncelikle gelen birim debiye (q_T) göre ızgara membaındaki su yüksekliği h_0 ve enerji yüksekliği H_0 hesaplanmalıdır. Daha sonra, hesaplamalar ızgara başlangıcındaki su yüksekliğinden (h_1) başlamaktadır. (Şekil 2.3)



Şekil 2.3. Sabit enerji seviyesi yöntemi ile ızgara hesabı

Eş. 2.1 ile Enerji denklemi ile ızgara üzerinde herhangi bir yerdeki birim debi (q_x), o noktanın ızgara üzerindeki yeri x_i ve o noktadaki su derinliği ile hesaplanabilmektedir.

$$q_x = h_i\sqrt{2g(H_i - h_i\cos\theta)} \qquad (2.1)$$

Eş. 2.1'de, (θ) ızgaranın eğimini ifade eder. Belirli bir noktadaki toplam enerji yüksekliği (H_i), girişteki toplam enerji yüksekliğine (H_0), yüksekli farkının ($x_i.\sin(\theta)$) eklenmesi ile bulunur. Daha sonra, belirlenen aralığa göre bir başka noktadaki su yüksekliği (h_i+1) için bir değer kabulü yapılır. Bu aralıkta (Δx_i) ızgara ile içeri alınan debinin (q_i) hesabı Eş. 2.2'deki orifis denklemi ile çözülür.

$$(q_i) = \lambda\sqrt{h}(\Delta x_i) \tag{2.2}$$

λ debi katsayısı $\lambda = \psi\mu_s\sqrt{2g\cos\theta}$ formülü ile hesaplanır. ψ çubuklar arasındaki mesafenin, çubuklar orta noktaları arasındaki mesafeye oranıdır (e/a). μ_s ızgara tipine göre değişen daralma katsayısını ifade etmektedir.

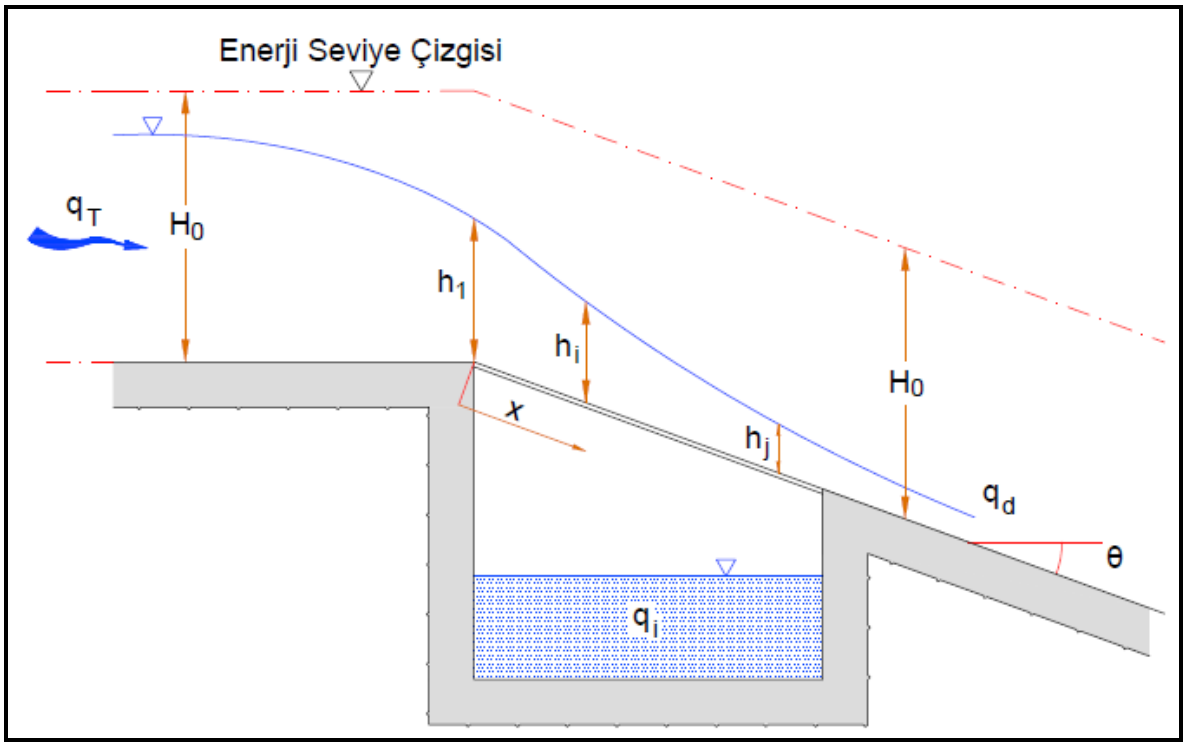
Daralma katsayısını μ_s aşağıdaki şekilde tanımlamıştır [17];

$$\mu_s = 0{,}66\psi^{-0.16}\left(\frac{a}{h}\right)^{0.13} \tag{2.3}$$

Eş. 2.2 ve 2.3'teki su yüksekliği (h) kesitteki h_i ve h_{i+1} yüksekliklerinin ortalaması olarak kabul edilmiştir. Daha sonra, kesitte ızgara ile alınan debi (q_i) hesaplanır ve bir sonraki kesite geçen debiyi (q_{x+1}) hesaplamak için toplam birim debiden (q_i) çıkarılır. Eş. 2.1 ile bir sonraki kesite geçen debi kullanılarak, kabul edilen h_{i+1} değerinin sağlaması yapılır. Her aralık için bu yineleme işlemi tekrarlanarak su yüzü profili oluşturulur.

Sabit Enerji Yüksekliği Yöntemi

Bu yöntemde enerji yüksekliği sabit kabul edilmiş olup, enerji çizgisi eğimi ızgaranın eğimi ile aynıdır. Şekil 2.4'te sabit enerji yüksekliği yöntemini yaklaşımının şeması verilmiştir.



Şekil 2.4. Sabit enerji yüksekliği yöntemi ile ızgara hesabı

Izgara eğiminin yeterince küçük olduğu durumlarda (h≈hcosθ) su yüzü profilinin diferansiyel denklemi Eş. 2.4'teki gibi verilmiştir[3].

$$\frac{dh}{dx} = -\frac{2\mu_s \psi \sqrt{H_0(H_0 - h)}}{2H_0 - 3h} \tag{2.4}$$

μ_s sabit bir değer kabul ederek i ve j noktaları arasında Eş. 2.4'ün integralini alarak su yüksekliğine bağlı kapalı bir formül (Eş. 2.5) elde edilir.

$$x_j - x_i = \frac{H_0}{\mu_s \psi}\left[\phi\left(\frac{h_j}{H_0}\right) - \phi\left(\frac{h_i}{H_0}\right)\right] \tag{2.5}$$

$$\phi\left(\frac{h}{H_0}\right) = \frac{1}{2}\arccos\left(\sqrt{\frac{h}{H_0}}\right) - \frac{3}{2}\sqrt{\frac{h}{H_0} - \left(1 - \frac{h}{H_0}\right)} \tag{2.6}$$

$\phi\left(\frac{h}{H_0}\right)$ ve $\left(\frac{h}{H_0}\right)$ bağlı fonksiyonlar denklemler çözülerek ve ya Çizelge 2.1'den yararlanılarak bulunabilmektedir. Bu yöntem ile aşamalı olarak su yüksekliği hesaplanabilmektedir. Her bir aralıktaki su yükseklikleri belirlendikten sonra, enerji yüksekliğine H_0 bağlı olarak maksimum debi (q_{max}) ve belirlenen noktalardaki debiler hesaplanabilmektedir[6].

$$q_{\max} = h_c V_c = \frac{2}{3} H_0 \sqrt{2g\left(H_0 - \frac{2}{3} H_0\right)} = \frac{2\sqrt{2g}}{3\sqrt{3}} H_0^{3/2} = 1{,}705 H_0^{3/2} \tag{2.7}$$

Eş. 2.5 q_{max} sınır koşulu ile değiştirildiğinde Eş. 2.8 elde edilir.

$$x_j - x_i = \frac{H_0}{\mu_s \psi}\left[\beta\left(\frac{q_j}{q_{\max}}\right) - \beta\left(\frac{q_i}{q_{\max}}\right)\right] \tag{2.8}$$

Eş. 2.8 kapalı formülü şu şekilde yazılabilir;

$$\beta\left(\frac{q}{q_{\max}}\right) = \frac{1}{2}\arccos\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\sqrt{2\cos\varphi + 1}\right) - \frac{\sqrt{2}}{2}\sqrt{(2\cos\varphi + 1)(1 - \cos\varphi)} \tag{2.9}$$

$\beta\left(\frac{q}{q_{\max}}\right)$ fonksiyonun çözümü denklem çözülerek ve ya Çizelge 2.1 kullanılarak yapılabilmektedir.

φ değerinin nehir ve sel rejimindeki akımlar için ayrı ayrı belirlenmesi gerekmektedir.

Nehir rejimindeki akımlar için $$\varphi = \frac{1}{3}\arccos\left[1 - 2\left(\frac{q}{q_{\max}}\right)^2\right] \tag{2.10}$$

Sel rejimindeki akımlar için $$\varphi = \frac{1}{3}\arccos\left[1 - 2\left(\frac{q}{q_{\max}}\right)^2\right] + 240^o \tag{2.11}$$

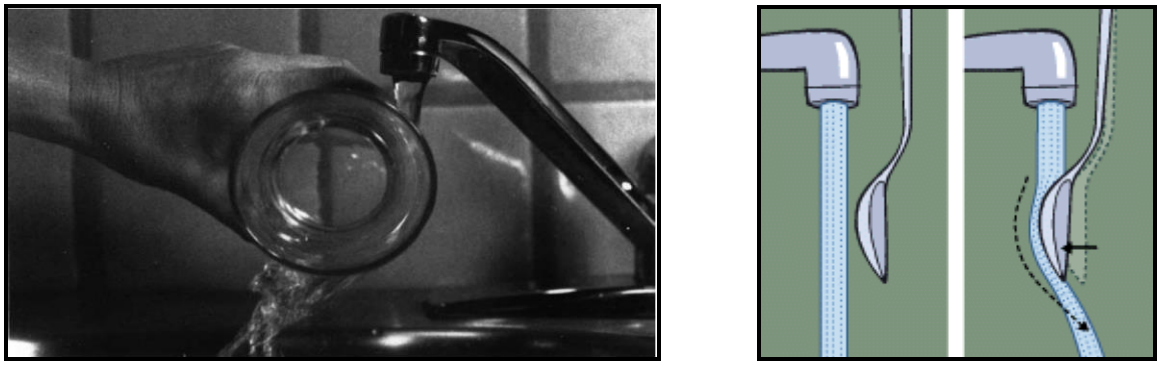
Çizelge 2.1. φ ve β fonksiyonları çözümleri

$\left(\frac{h}{H_0}\right)$	$\phi\left(\frac{h}{H_0}\right)$	$\left(\frac{q}{q_{max}}\right)$	$\beta\left(\frac{q}{q_{max}}\right)$	
			Nehir rejimi	Sel rejimi
0	0,7854	0	0	0,7854
0,05	0,3457	0,05	-0,0192	0,5084
0,10	0,1745	0,10	-0,0385	0,3937
0,15	0,0510	0,15	-0,0578	0,3072
0,20	-0,0464	0,20	-0,0771	0,2342
0,25	-0,1259	0,25	-0,0965	0,1702
0,30	-0,1921	0,30	-0,1158	0,1127
0,35	-0,2466	0,35	-0,1352	0,0617
0,40	-0,2918	0,40	-0,1546	0,0117
0,45	-0,3290	0,45	-0,1742	-0,0337
0,50	-0,3573	0,50	-0,1938	-0,0762
0,55	-0,3791	0,55	-0,2134	-0,1162
0,60	-0,3925	0,60	-0,2332	-0,1543
0,65	-0,3989	0,65	-0,2532	-0,1904
0,70	-0,3976	0,70	-0,2732	-0,2247
0,75	-0,3877	0,75	-0,2934	-0,2575
0,80	-0,3682	0,80	-0,3139	-0,2887
0,85	-0,3367	0,85	-0,3346	-0,3187
0,90	-0,2891	0,90	-0,3556	-0,3471
0,95	-0,2142	0,95	-0,3771	-0,3743
1,00	0	1,00	-0,3994	-0,3994

2.2. Coanda Tipi Su Alma Yapıları

Sediment ve istenmeyen maddelerin sisteme girişini engellemek için kullanılan bir diğer çözüm de coanda tipi su alma yapılarıdır. Tıkanma, temizleme, bakım ve işletme süreçlerine geleneksel tirol tipi su alma yapılarına göre büyük yenilikleri getiren bu yapılar coanda etkisi ile çalışmaktadır.

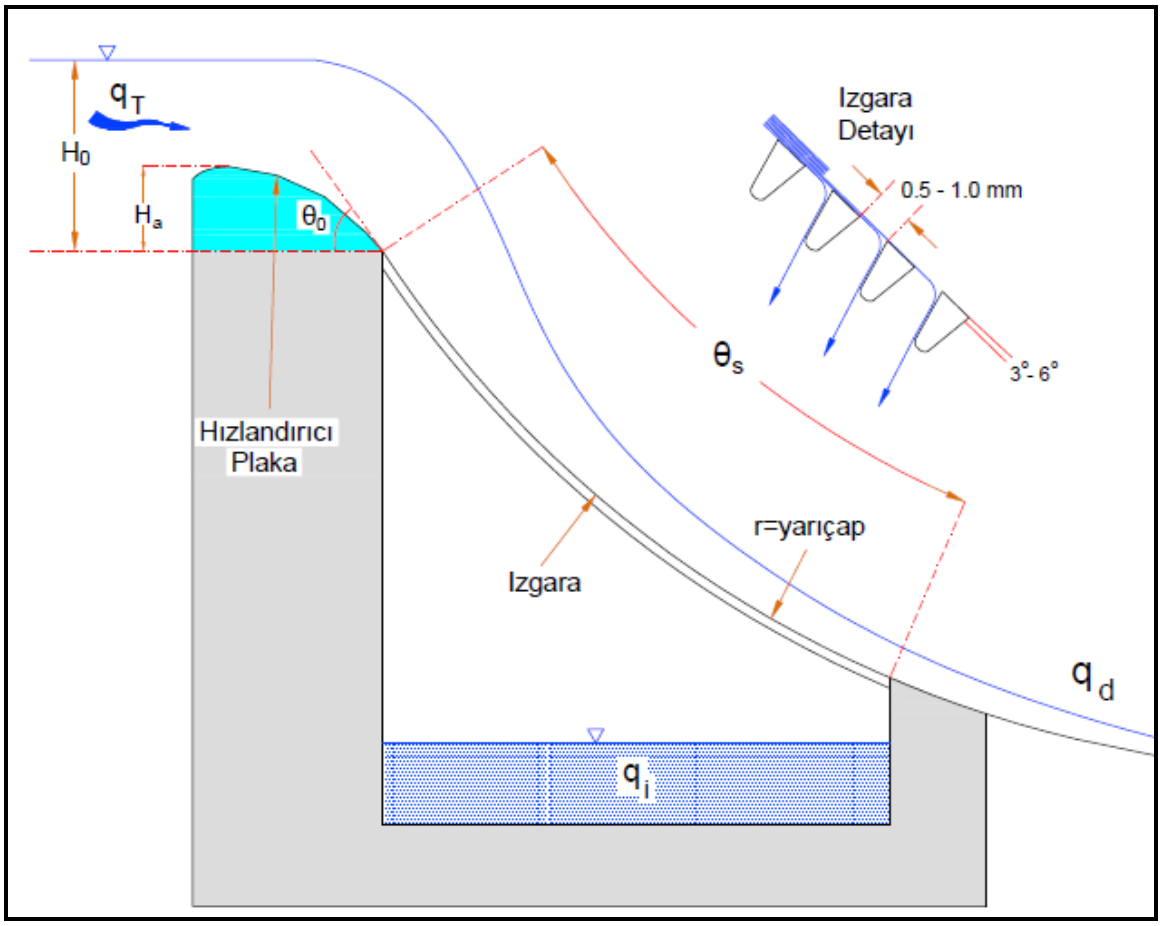
Rumen bilim adamı Henri Coanda, hızla ilerleyen akımın doğru bir yol izlemek yerine, adhezyon kuvvetlerinden dolayı yakınındaki bir yüzeye yapışarak, o yüzeyin eğimini izleyerek ilerlemesi durumunu ilk saptayan kişidir. Daha sonra havacılık sektöründe devrim yaratacak bu tespiti Coanda Etkisi olarak adlandırılmıştır.(Resim 2.1)



(a) (b)

Resim 2.1. Coanda etkisini tanımlayan görseller [18]

Coanda tipi ızgaralar tirol tipi su alma yapılarında olduğu gibi savağın mansap tarafına yerleştirilir. Su hızlandırıcı plaka geçtikten sonra tirol tipinden farklı olarak akış yönine dik olarak yerleştirilmiş olan coanda tipi ızgaraya ulaşır. Izgaralar ile içeri alınan debi aşağıda bir toplama kanalı ile sisteme yönlendirilirken, taşan su, sediment ve yabancı maddeler mansap tarafına atılır. Izgara yüzeyindeki suyun hızı, kaynak ile ızgara arasındaki düşüye bağlı olarak 2-3 m/s arasında değişmektedir. Coanda tipi su alma yapılarının temel bileşenleri Şekil 2.5'de gösterilmektedir[8].



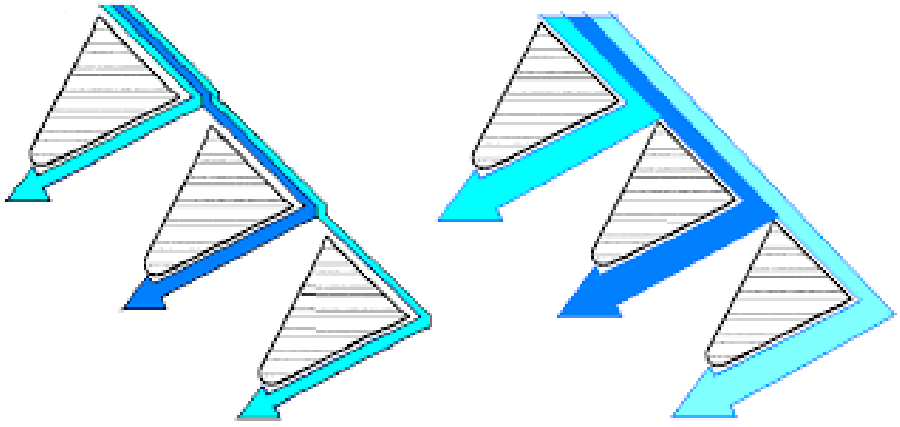
Şekil 2.5. Coanda tipi su alma yapılarının temel bileşenleri

Kaynaktan gelen akımın ızgaranın başlangıç noktasına düzgün bir giriş yapabilmesi için, hızlandırıcı plaka kullanılmaktadır. Hızlandırıcı plaka, ızgara üzerine gelecek suyun hızını artırarak, hem sediment ve istenmeyen maddelerin ızgara üzerinde birikimini engeller, hem de ızgaranın kendini temizlemesini sağlar. Çelikten imal edilen plakaların, suyu ızgara üzerine düzgün ve doğru bir açıyla iletebilmesi için, ogee profilinde ve ya dairesel yay şeklinde tasarlanması uygundur.

Coanda tipi su alma yapılarında, ızgara çubuklarının arasındaki mesafe sisteme girişini engellemek istediğimiz sediment çapına göre belirlenmektedir. 0,20 mm ile 3,00 mm arasında değişebilen çubuk aralığı genelde 1,00 mm olarak kullanılmaktadır. Çubuk aralığının 1,00 mm olarak seçilmesi durumunda, bu değerden daha büyük ebatlara sahip olan parçacıkların sisteme girişi önlenmiş olacaktır[8].

Tipik olarak ızgara, eğrilik yarıçapı yaklaşık 3 m. olan içbükey yay şeklinde tasarlanır. Izgaranın bu şekilde tasarlanmasının çeşitli avantajları vardır. Düz bir ızgara kullanılması durumunda sisteme girişi engellenen sediment ızgara üzerinde birikecek, sisteme giren su miktarında azalmaya neden olacaktır. Coanda tipi su alma yapılarının tercih edilmesindeki en büyük nedenlerden biri ızgaraların kendi kendini temizleyebilme özelliğidir. Düz ızgara üzerinde biriken sedimenti sistemden uzaklaştırmak için daha dik, daha uzun bir ızgaraya ihtiyaç duyulacaktır. Sisteme almak istediğimiz debiyi ızgara üzerindeki su yüksekliği ve yerçekimi kuvvetleri belirleyeceğinden, hızdaki artış ve dolayısı ile su yüksekliğindeki düşüş ayrıca yönlendirilen debide azalmaya neden olmaktadır. Izgara yay şeklinde tasarlanarak, sediment birikimi engellenmiş, ızgaranın kendi kendini temizleme özelliği korunmuş ve istenen debi sisteme yönlendirilmiş olacaktır.

Coanda tipi su alma yapılarına özel olarak, üretim aşamasında, her bir çubuk kesme akımı yaratmak amacıyla birbirine göre açılı olarak yerleştirilir. Keskin üçgen kesitli ızgara çubuklar 3^{o}-6^{o} arasında kademeli olarak yükseltildiğinde, yerçekimi kuvvetinin yanı sıra çubukların yarattığı girintiden faydalanılarak sisteme daha fazla suyun girmesi sağlanır. Her çubuğun üst yüzeyinden geçecek akım coanda etkisi oluşturarak sisteme dahil olacaktır [8] (Şekil 2.6).



(a) (b)

Şekil 2.6. Açılı yerleştirilmemiş ve yerleştirilmiş çubuklar [19]

2.2.1. Coanda tipi su alma yapılarının tasarımına etki eden faktörler

Izgaralar arasından geçecek su iki mekanizmanın birleşimi ile meydana gelmektedir. Birincisi, birbirine göre açılı olarak yerleştirilmiş çubukların arasında meydana gelen kesme akımıdır. Kesme akımı ile su kütlesinin alt tabakası direkt olarak ızgaralar arasında toplama kanalına girecektir. Kesme etkisi öncelikle çubuklar arasındaki açı derecesine ve ızgara üzerindeki su hızına bağlıdır. Hız arttıkça kesme etkisi daha baskın olmaktadır. İkincisi ise ızgaralar arasında meydana gelen orifis durumudur. Orifis davranışı ızgaranın boşluk oranına (çubuklar arasındaki açıklığın toplam ızgara alanına oranı), ve ızgara üzerine basınç yapan su yüksekliğine bağlıdır. Kesme ve orifis akımlarının en belirleyici mekanizmalar olduğunun bilinmesi, değişen tasarım parametrelerin etkisini incelerken de faydalı olacaktır.

Düşü Yüksekliği

Izgaranın 10^{o} eğim ile yerleştirilmesi durumunda düşü yüksekliği azaldıkça içeri alınan debinin arttığı, 60^{o} eğim ile yerleştirilmesi durumunda ise düşü yüksekliği arttıkça alınan debinin arttığı görülmüştür[9].

Düşü yüksekliğinin farklı açılarda sistemi farklı etkilemesinin sebebi orifis ve kesme akımlarıdır. Daha yatay ızgararlarda orifis akımı, kesme akımına göre daha baskındır. Düşü yüksekliğindeki azalma, ızgara üzerindeki su hızının azalmasına ve su yüksekliğinin artmasına sebep olduğundan dolayı orifis etkisi yatay ızgaralarda daha etkili olmaktadır. Bunun tam tersi, daha dik ızgaralarda, kesme akımı daha baskındır. Düşü yüksekliğinde artış, ızgara üzerindeki su hızının artmasına ve kesme etkisi ile sisteme daha çok suyun yönlenmesine neden olacaktır.

Düşü yüksekliği ızgara üzerindeki su hızına etkisi vardır. Coanda tipi su alma yapılarının kendi kendini temizleme özelliğinin çalışabilmesi için ızgara yüzeyindeki belirli bir seviyede akım olması gerekmektedir. Küçük bir düşü yaratarak bu değer hızlandırıcı plakanın yardımı ile elde edilebilmektedir.

Izgara Eğimi ve Açılı Yerleştirilmiş Çubuklar

Izgaranın eğimi ile yönlendirilen debi arasında ilişki su hızına ve ızgaranın boşluk oranına bağlıdır. Orifis ve ya kesme akımlarının baskınlık derecesine göre artma ve ya azalma eğilimi göstermektedir. Bu iki mekanizmanın dengelenmesi durumunda ızgara eğiminden bağımsız olarak sisteme alınan debi sabit kalmaktadır[9].

Yüksek hızların meydana geldiği yüksek eğimlerde, ızgara çubukları arasındaki açının oluşturduğu kesme akımının diğer faktörlere göre daha baskın olması sebebiyle daha fazla debinin sisteme alınması sağlanmaktadır.

Izgara Uzunluğu

Izgara uzunluğunun, ızgara kapasitesine olan etkisi açık bir şekilde ortadadır. Izgara uzunluğundaki artış, yönlendirilen debide belirli bir artışa sebep olacaktır. Artışın derecesi ızgaranın boşluk oranına, çubukların genişliğine ve çubukların kaç derecelik açılarla yerleştirildiğine göre farklılık gösterebilmektedir.

Izgara Yarıçapı

Yaygın olarak kullanılan ızgaralar, içbükey yay şeklinde tasarlanmaktadır. İçbükey profil akımın ızgara başlangıcında dik, ızgara sonunda ise daha yatay bir şekilde hareket etmesini sağlar. Bu şekilde ızgaranın sonunda oluşacak aşınma azaltılabilmektedir. Ayrıca, içbükey ızgara, düz ızgaraya göre ızgara uzunluğunda bir miktar artışa imkan vermektedir. Bu doğrudan yönlendirilen debiye olumlu etki yaratmaktadır. Son olarak, içbükey ızgara, ızgara yüzündeki suyun basıncını artıracağından, orifis etkisinin artmasını sağlamaktadır[9].

Izgara Özellikleri

Izgara çubuklarının genişliği ve aralarındaki boşluk ızgara kapasitesinin belirlenmesinde çok etkilidir. Çubukların kalınlığı arttıkça orifis etkisi azalacak ve yönlendirelecek debi azalacaktır. Aynı şekilde çubuklar arasındaki mesafenin artışı orifis etkisini artıracağından alınan debi de artacaktır.

2.2.2. Coanda tipi su alma yapılarının çözüm yöntemleri

Tirol tipi su alma yapılarının çözümünde olduğu gibi, coanda tipi su alma yapılarının çözümü de azalan debiye göre enerji denklemi kullanılarak yapılmaktadır. Hesaplamalar sürtünmenin olmadığı varsayımı ile yapının en üst noktasında başlar ve mansap yönüne doğru devam eder.

Debi ile düşü yüksekliği arasındaki ilişki aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$q = CH^{3/2} \tag{2.12}$$

Eş. 2.12'de q birim debiyi, C debi katsayısını, H ise başlangıçtaki düşü yüksekliğini ifade etmektedir.

Düşü yüksekliği ve ızgaranın başlangıcına kadar olan dikey yükseklik bilindiğinde, su yüksekliği $d_1 = q/V_1$ ve ızgara başlangıcındaki su hızı $V_1 = \left[2g(H_t - d_1 \cos\theta\right]^{1/2}$ hesaplanabilmektedir. H_t düşü yüksekliği ve hızlandırıcı plakanın dikey yüksekliğinin toplamı olan efektif düşüyü, θ ise ızgaranın eğimini ifade eder[7].

Hesaplamalar ızgara arasından geçen debiler, su yüksekliği ve su hızı belirlenerek mansaba doğru her bir çubuk için devam ettirilir. Su yüksekliği sıfırlanana ve ya ızgara sonuna kadar hesaplamalar devam eder.

Izgara ile sisteme alınan debi q_i şu şekilde hesaplanır.

$$q_i = C_d\left(t + y_{off}\right)\sqrt{2gE} \tag{2.13}$$

Eş. 2.13'te $E = D\cos\theta + V^2/2g$ akımın özgül enerjisini, D ızgaraya dik su yüksekliğini, V su hızını, θ ızgaranın eğimini, t çubuklar arasındaki mesafeyi, y_{off} açılı yerleştirilmiş çubuklar arasında oluşan açıklık yüksekliğini, C_d debi katsayısını ifade eder. Izgaranın çapı r olan içbükey yay olarak seçilmesi durumunda, akımın özgül enerjisi merkezkaç etkisinden dolayı DV^2/gr oranında artar[7].

Açılı yerleştirilmiş çubuklar arasında oluşan açıklığın hesabı çubuk genişliği (w), çubuklar arasındaki boşluk (t) ve yerleştirilme açısı (ϕ) kullanılarak Eş. 2.14 ile yapılabilmektedir[7].

$$y_{off} = w\sin\phi\cos\phi + t\sin\phi \tag{2.14}$$

Türetilen formüllerin çözümü yüksek efor ve zaman gerektirmesinden dolayı U.S.B.R (United States Bureau of Reclamation) Su Kaynakları Araştırma Laboratuvarı yukarıda belirtilen formülleri temel alarak değişen tasarım parametrelerine göre coanda tipi su alma yapılarının performansını hesaplayan bir yazılım geliştirmiştir.

U.S.B.R., su kaynakları ve bununla ilgili konularda ekonomik ve çevresel projeler üretip, geliştirmek ve korumak için Amerika Birleşik Devletleri tarafından 1902 yılında kurulmuş bir kurumdur. Baraj, hidroelektrik santrali ve kanallar ile ilgili çalışmalarıyla bilinen kurum, Amerika Birleşik Devletleri'nin su temininde birinci, hidroelektrik üretiminde ise ikinci sırada hizmet vermektedir. [20]

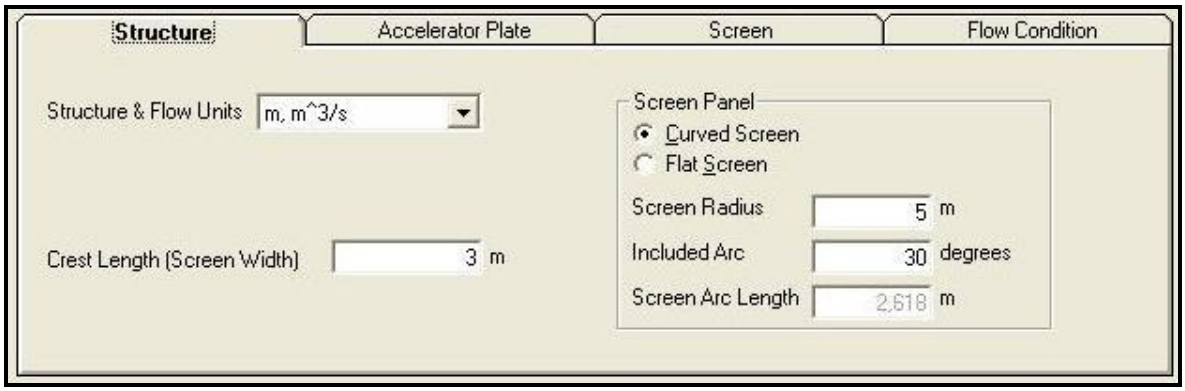
Coanda tipi su alma yapılarının performansını ölçmeye, sistemin geliştirilmesine yönelik yapılan önemli deney ve gözlemlerin U.S.B.R çatısı altında yapılmasından dolayı bu konuda büyük bir öneme sahiptir.

U.S.B.R tarafından Visual Basic 4.0 ile yazılan program Microsoft Windows 32-bit versiyonlarda çalışmaktadır.

Tasarım parametreleri dört ayrı sekmede girilmesi gerekmektedir.

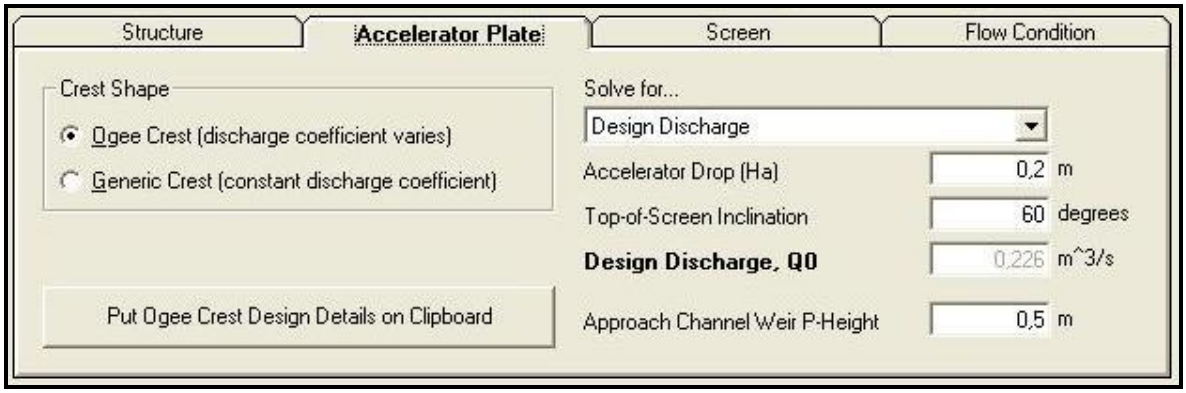
- Yapı Bilgisi
- Hızlandırıcı Plaka Özellikleri
- Izgara Özellikleri
- Akış Durumu

Resim 2.2'de gösterilen yapı sekmesinde ızgara iç bükey ve ya düz olarak seçilebilmekte ve ızgaranın temel özellikleri girebilmektedir.



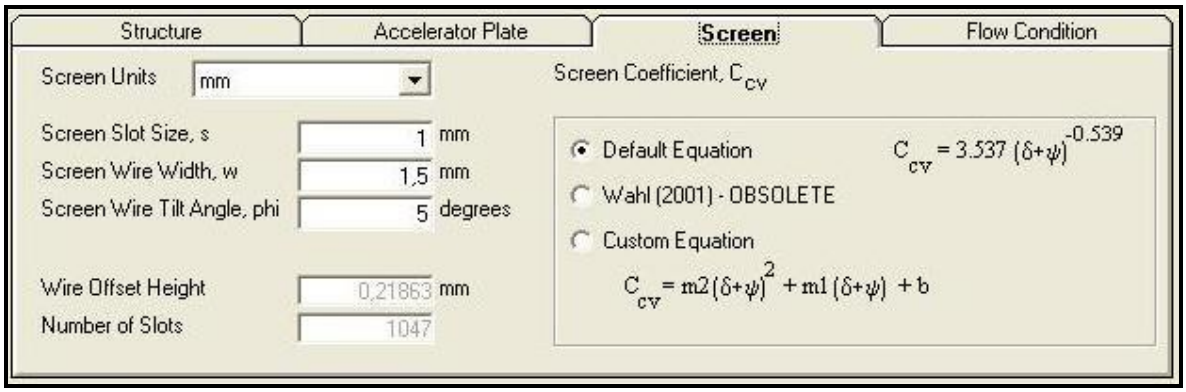
Resim 2.2. Yapı bilgisi sekmesi

Hızlandırıcı plaka sekmesinde kret şekli ogee profilinde ve ya belirli bir profili olmayan şekilde seçilebilmektedir. Ogee profili seçilmesi durumunda yazılım debi katsayısını hesaplarken, özel profil seçilmesi durumunda debi katsayısının elle girilmesi gerekmektedir. Ayrıca hızlandırıcı plaka sonundaki eğim, hızlandırıcı plakanın düşey yüksekliği ve tasarım debisi için alanlar bulunmaktadır. Tasarım yaparken bu üç değerden ikisinin girilmesi durumunda kalan değer otomatik olarak hesaplanmaktadır. Hızlandırıcı plaka sekmesinde kullanılan değerlerin tamamı kret ve plakanın tasarımında kullanılan değerlerdir. Bu sekmedeki tasarım debisi ile toplam gelen debi farklıdır. (Resim 2.3)



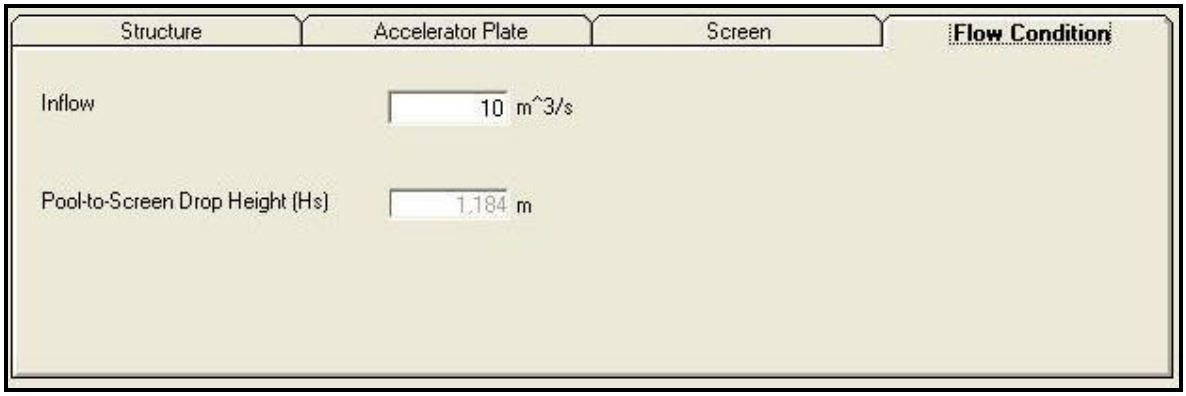
Resim 2.3. Hızlandırıcı plaka özellikleri sekmesi

Çubuklar arasındaki boşluk, çubukların genişliği ve çubukların birbirine göre yerleştirme açıları ızgara özellikleri sekmesine girilmektedir. Program ızgara boyunca ne kadar boşluk olduğunu ve iki çubuk arasındaki açıklığın yüksekliğini hesaplamaktadır. (Resim 2.4)



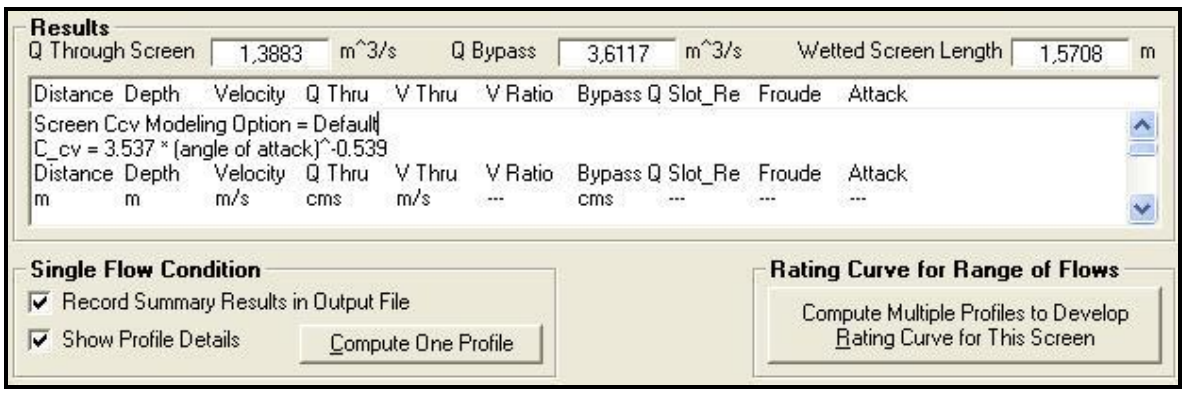
Resim 2.4. Izgara özellikleri sekmesi

Son olarak akış durumu sekmesinde, toplam gelen debi girilir (Resim 2.5)



Resim 2.5. Akış durumu sekmesi

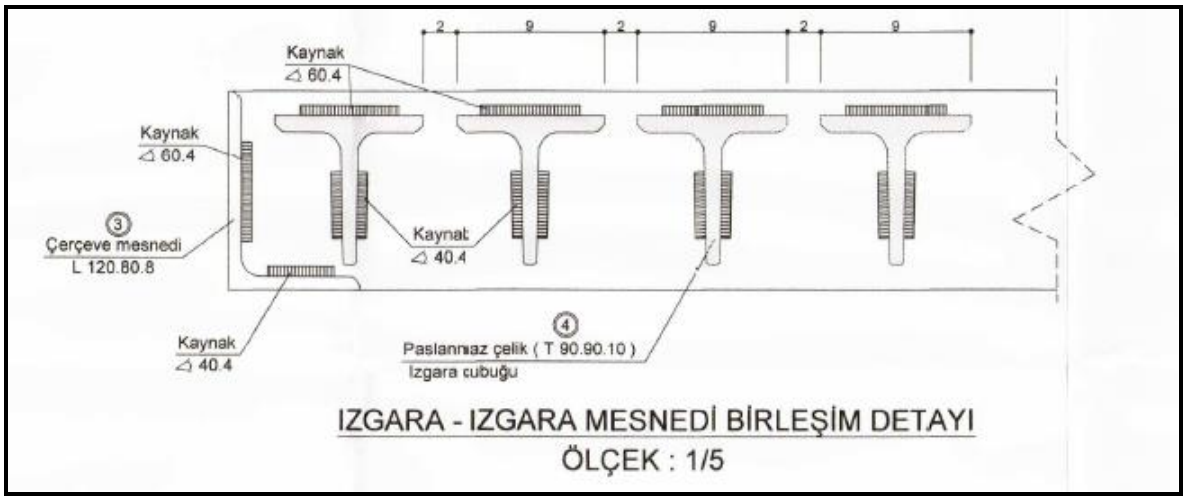
İstenilen değerler programa girildikten sonra "Compute One Profile" seçeneği ile girilen tasarım çözülür. Sonuç kısmında ıslak ızgara uzunluğunun ve ne kadar debinin sisteme alındığının yanı sıra, ızgara boyunca herhangi bir noktadaki suyun derinliği, hızı, debisi detaylı olarak görülebilmektedir (Resim 2.6).



Resim 2.6. Sonuç sekmesi

3. TİROL TİPİ VE COANDA TİPİ SU ALMA YAPILARININ SAYISAL ÇÖZÜM ÖRNEKLERİ

Sayısal çözüm örneği için İlbank A.Ş. tarafından 2014 yılında projelendirilen Göle (Ardahan) İçmesuyu Kesin Projesi kapsamında tasarlanan tirol tipi su alma yapısının tasarım verileri kullanılacaktır. Söz konusu proje 0,008 m^3/s/m'lik birim debiye göre tasarlanmasına rağmen, karşılaşılabilecek tıkanma, buzlanma ve diğer olumsuz etkenleri göz önünde bulundurarak Resim 3.1'de detaylı olarak kesiti verilen 1,5 m uzunluğunda bir tirol tipi ızgara tercih edilmiştir.

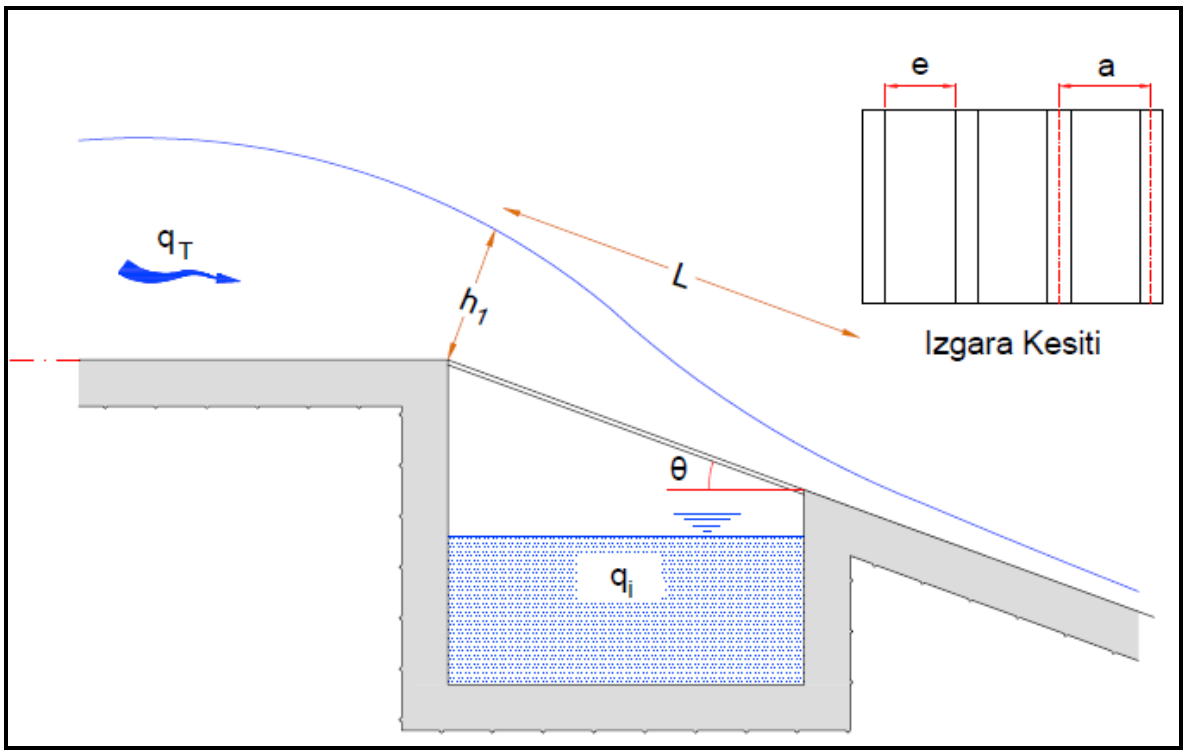


Resim 3.1. Tirol tipi su alma yapısı çözüm örneği ızgara detayı[21]

Tirol tipi için çözüm yapılırken 0,250 m^3/s/m'lük bir birim debi gelmesi durumunda mevcut projelendirilen ızgaranın nasıl bir performans göstereceği hesaplanacaktır.

Coanda tipi için çözüm örneği yapılırken ise tirol tipi ile kıyaslama yapabilmek amacıyla aynı debi ve yaklaşık olarak aynı boyutlardaki ızgara üzerinden geçirilerek ne kadar debinin sisteme alınabildiği hesaplanacaktır.

3.1. Tirol Tipi Su Alma Yapısı Sayısal Çözüm Örneği



Şekil 3.1. Tirol tipi su alma yapısı çözüm örneği çizimi

(q_T)=0,250 $m^3/s/m$	L = 0,50 m	e = 20,00 mm
a = 90,00 mm	θ = 15,0^o	h_0=0,16m

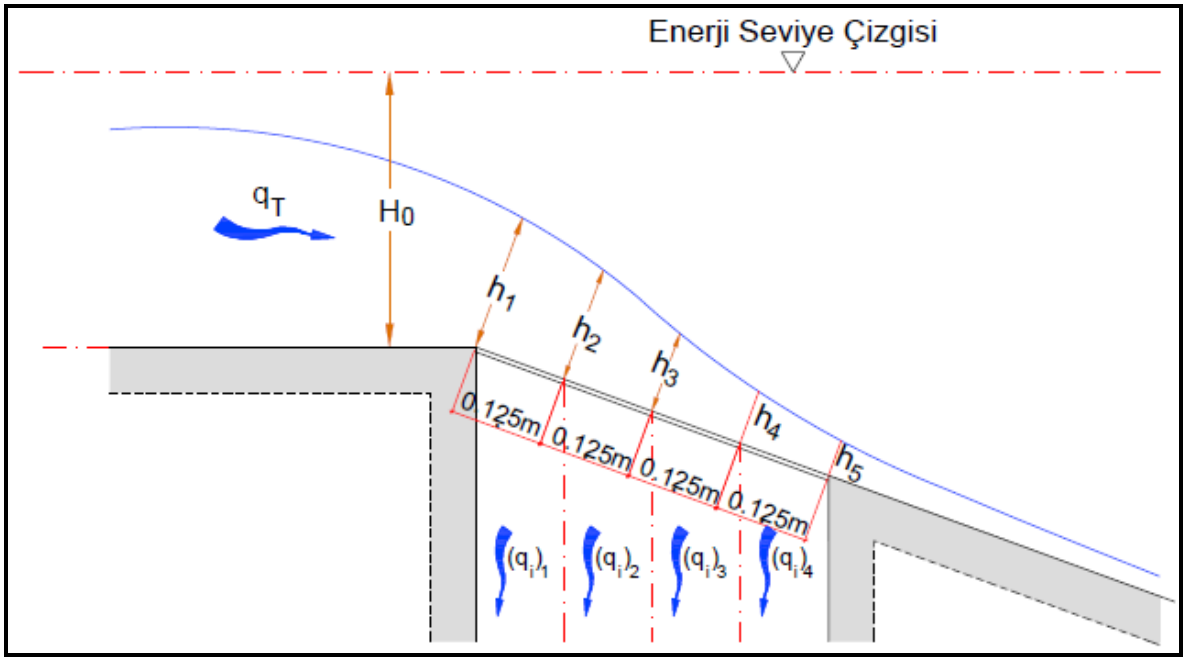
Şekil 3.1'de toplam gelen debinin (q_T) 0,250 $m^3/s/m$, ızgara uzunluğunun (L) is 0,50 m ve ızgara eğiminin (θ) 15,0^o bir tirol tipi su alma yapısı verilmiştir. Çubuklar arası mesafe (e) 20,00 mm, çubuklar orta noktası arası mesafenin (a) 90,00 mm olması durumunda, ızgaralar ile sisteme alınacak debi (q_i) hesabı yapılacaktır. Şekil 3.1'de ızgara için kullanılacak profilleri detaylı olarak gösterilmiştir.

Sabit Enerji Seviyesi Yöntemi

Sabit enerji seviyesi yöntemi ile ızgara çeşitli uzunluklara ayrılarak, her bir aralık için hesaplamalar tekrarlanacaktır. Bu problem için ızgara 0,04 m uzunluğa sahip dört eşit parçaya ayrılmıştır.

$$\psi = \frac{e}{a} = \frac{20.00}{90.00} = 0{,}182$$

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{0.250^2}{9.81}} = 0{,}185$$



Şekil 3.2. Sabit enerji seviyesi çözüm yöntemi ile tirol tipi su alma yapısı çözüm örneği çizimi

$$(q_T) = h_1\sqrt{2g(H_o - h_1\cos\theta)}$$

$$0{,}250 = 0{,}16 \times \sqrt{2 \times 9{,}81 \times (H_o - 0{,}161 \times \cos 15)}$$

$$H_o = 0{,}28m$$

<u>İlk aralık için hesaplama</u>

İlk aşamada, birinci 0,125m uzunluktaki sisteme yönlendirilen debi $(q_i)_1$ ve su yüksekliği h_2 hesaplanır.

$$(q_i)_1 = \lambda\sqrt{h_{ave}}.\Delta x,\ h_{ave} = \frac{h_1 + h_2}{2},\ \lambda = \psi\mu_s\sqrt{2g\cos\theta}$$

$$\mu_s = 0{,}66\psi^{-0{,}16}\left(\frac{a}{h_{ave}}\right)^{0{,}13} = 0{,}66\times 0{,}182^{-0{,}16}\times\left(\frac{0{,}110}{h_{ave}}\right)^{0{,}13} = \frac{0{,}651}{h_{ave}^{0{,}13}}$$

İlk varsayım h_2=0,10 m

$$h_{ave} = \frac{h_1 + h_2}{2} = \frac{0{,}16 + 0{,}10}{2} = 0{,}13m$$

$$\mu_s = \frac{0{,}651}{0{,}13^{0{,}13}} = 0.849$$

$$\lambda = 0{,}182\times 0{,}849\times\sqrt{2\times 9{,}81\times\cos 15} = 0{,}673$$

$$(q_i)_1 = 0{,}673\times\sqrt{0{,}13}\times 0{,}125 = 0{,}03m^3/m/s$$

$$(q_1) = (q_T) - (q_i)_1 = 0{,}250 - 0{,}03 = 0{,}22m^3/m/s$$

(q_1) birinci aralıktan sonra sisteme dahil olmadan mansap tarafına devam eden debiyi ifade etmektedir.

Enerji çizgi seviyesinin sabit olduğu göz önünde bulundurularak h_2=0,10 m varsayımımızın sağlaması yapılmalıdır.

$$(q_1) = h_2\sqrt{2g(H_o + \Delta x\sin\theta - h_2\cos\theta)}$$

$$0{,}22 = h_2\sqrt{2\times 9{,}81\times(0{,}28 + 0{,}125\times\sin 15 - h_2\cos 15)}$$

$$h_2 = 0{,}109m \neq 0{,}10m$$

İkinci varsayım, h_2 = 0,109 m

$$h_{ave} = \frac{h_1 + h_2}{2} = \frac{0{,}16 + 0{,}109}{2} = 0{,}135m$$

$$\mu_s = \frac{0,651}{0,135^{0,13}} = 0,845$$

$$\lambda = 0,182 \times 0,845 \times \sqrt{2 \times 9,81 \times \cos 15} = 0,669$$

$$(q_i)_1 = 0,669 \times \sqrt{0,135} \times 0,125 = 0,031 m^3/m/s$$

$$(q_1) = (q_T) - (q_i)_1 = 0,250 - 0,031 = 0,219 m^3/m/s$$

$$(q_1) = h_2 \sqrt{2g(H_o + \Delta x \sin\theta - h_2 \cos\theta)}$$

$$0,219 = h_2 \sqrt{2 \times 9,81 \times (0,28 + 1,25 \times \sin 15 - h_2 \cos 15)}$$

$h_2 = 0,109m$ (sağlama yapıldı)

Hesaplamalar sonucunda, h_2 su yüksekliğinin 0,109 m olduğu doğrulandı. İlk 1,25m'lik aralıkta 0,031 m^3/s/m'lük birim debi sisteme yönlendirilirken, geriye kalan 0,219 m^3/s/m'lük birim debi mansap tarafına devam etmiştir.

<u>İkinci aralık için hesaplama</u>

İkinci aşamada hesaplamalar, değişen verilere göre ilk aralıkta yapılan hesaplamalarla ile aynı şekilde yapılacaktır.

İlk varsayım, h_3=0,070 m,

$$h_{ave} = \frac{h_2 + h_3}{2} = \frac{0,109 + 0,75}{2} = 0,090m$$

$$\mu_s = \frac{0,651}{0,090^{0.13}} = 0,890$$

$$\lambda = 0,182 \times 0,890 \times \sqrt{2 \times 9,81 \times \cos 15} = 0,705$$

$$(q_i)_2 = 0,705 \times \sqrt{0,090} \times 0,125 = 0,026 m^3/m/s$$

$$(q_2) = (q_1) - (q_i)_2 = 0,219 - 0,026 = 0,193 m^3/m/s$$

$$(q_2) = h_3\sqrt{2g(H_o + 2\Delta x \sin\theta - h_3\cos\theta)}$$

$$0{,}193 = h_3\sqrt{2\times 9{,}81\times(0{,}28 + 2\times 0{,}125\times \sin 15 - h_3\cos 15)}$$

$$h_3 = 0{,}07 \neq 0{,}085m$$

İkinci varsayım, h_3 = 0,085 m

h_3=0,085 varsayımı ile, aynı işlemler ve sağlama yapıldığında, son değerler şu şekilde bulunur;

$$h_3 = 0{,}085m$$

$(q_i)_2 = 0{,}027m^3/s/m$ (ikinci aralıkta sisteme yönlendirilen debi)

$(q_2) = 0{,}192m^3/s/m$ (ikinci aralıktan sonra mansap yönüne devam eden debi)

Birinci ve ikinci aralık için yapılan hesaplamalar diğer aralıklar için yapıldığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Üçüncü aralık için hesaplama

$$h_4 = 0{,}068m$$

$(q_i)_3 = 0{,}025m^3/s/m$ (üçüncü aralıkta sisteme yönlendirilen debi)

$(q_3) = 0{,}167m^3/s/m$ (üçüncü aralıktan sonra mansap yönüne devam eden debi)

Dördüncü aralık için hesaplama

$$h_5 = 0{,}054m$$

$(q_i)_4 = 0{,}023m^3/s/m$ (dördüncü aralıkta sisteme yönlendirilen debi)

$(q_d) = 0{,}144m^3/s/m$ (dördüncü aralıktan sonra, ızgaranın bittiği noktadan sonra mansap yönüne devam eden debi)

Hesaplamalar sonucunda toplam sisteme yönlendirilen debi, her aralıkta sisteme yönlenen debileri toplayarak bulunabilir.

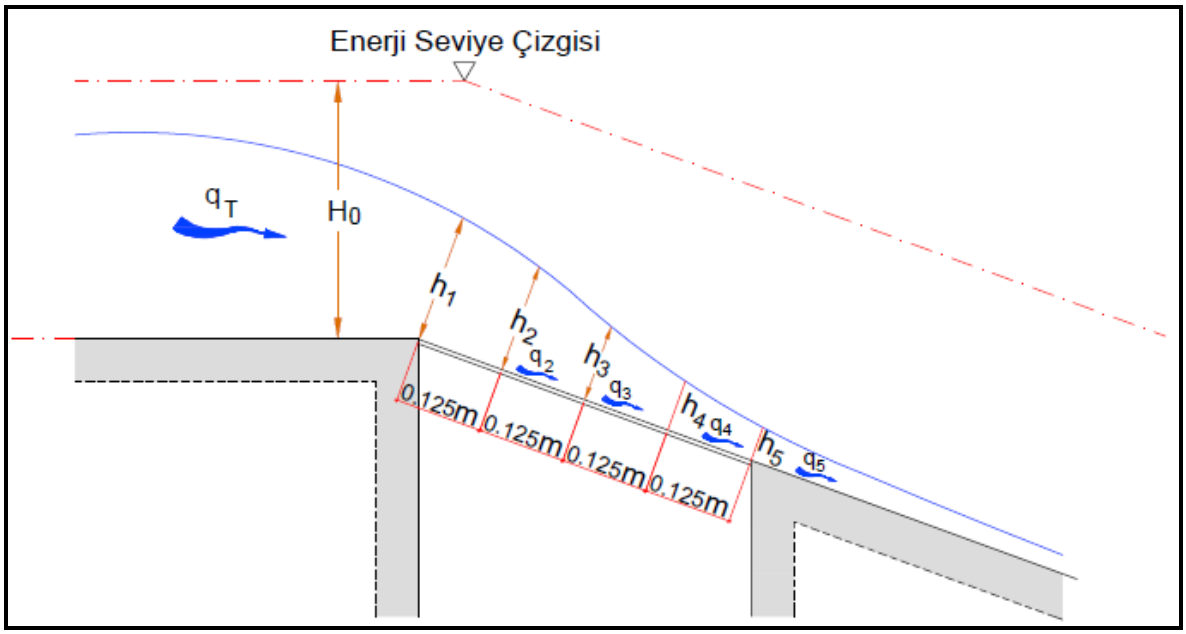
$$(q_i)=(q_i)_1+(q_i)_2+(q_i)_3+(q_i)_4$$

$$(q_i)=0{,}031+0{,}027+0{,}025+0{,}023=0{,}106 m^3/s/m$$

Izgara üzerinden aşarak mansap yönüne devam eden debi (q_d) =0,144 $m^3/s/m$ olarak hesaplanmıştır.

Sabit Enerji Yüksekliği Yöntemi

Sabit enerji yüksekliği yöntemi iki aşamada uygulanmaktadır. Önce her bir aralıktaki su yüksekliği daha sonra, her bir aralıktan ızgaralar aracılığı ile yönlendirilen debi hesaplanacaktır.



Şekil 3.3. Sabit enerji yüksekliği çözüm yöntemi ile tirol tipi su alma yapısı çözüm örneği çizimi

h_2 su yüksekliğinin hesaplanması

$$\Delta x=\frac{H_0}{\mu_s\psi}\left[\phi\left(\frac{h_2}{H_0}\right)-\phi\left(\frac{h_1}{H_0}\right)\right]$$

$$\mu_s = 0{,}66\psi^{-0{,}16}\left(\frac{a}{h_1}\right)^{0{,}13} = 0{,}66\times 0{,}182^{-0{,}16}\times\left(\frac{0{,}11}{0{,}16}\right)^{0{,}13} = 0{,}826$$

$$H_o = 0{,}28m,\ h_1 = 0{,}16m, \psi = \frac{e}{a} = \frac{20}{110} = 0{,}182$$

$$0{,}125 = \frac{0{,}28}{0{,}826\times 0{,}182}\left[\phi\left(\frac{h_2}{0{,}28}\right) - \phi\left(\frac{0{,}16}{0{,}28}\right)\right]$$

ϕ fonksiyonu ilgili denklem ile ve ya Çizelge 2.1 yardımı ile çözülebilmektedir.

$$\phi\left(\frac{0{,}16}{0{,}28}\right) = \frac{1}{2}\times\arccos\sqrt{\frac{0{,}16}{0{,}28}} - \frac{3}{2}\times\sqrt{\frac{0{,}16}{0{,}28}\times\left(1-\frac{0{,}16}{0{,}28}\right)} = -0{,}385$$

$\phi\left(\frac{h_2}{0{,}28}\right) = -0{,}318$, Çizelge 2.1 ve ya yinelemeli çözüm yaparak $\left(\frac{h_2}{0{,}28}\right) = 0{,}432$

$$h_2 = 0{,}121m$$

h_3 su yüksekliğinin hesaplanması

$$\Delta x = \frac{H_0}{\mu_s\psi}\left[\phi\left(\frac{h_3}{H_0}\right) - \phi\left(\frac{h_2}{H_0}\right)\right]$$

$$0{,}125 = \frac{0.28}{0{,}826\times 0{,}182}\left[\phi\left(\frac{h_3}{0{,}28}\right) - \phi\left(\frac{0{,}121}{0{,}28}\right)\right],\ \phi\left(\frac{0{,}121}{0{,}28}\right) = -0{,}318$$

$$\phi\left(\frac{h_3}{0{,}28}\right) = -0{,}251,\ h_3 = 0{,}10m$$

h_4 su yüksekliğinin hesaplanması

$$\Delta x = \frac{H_0}{\mu_s\psi}\left[\phi\left(\frac{h_4}{H_0}\right) - \phi\left(\frac{h_3}{H_0}\right)\right]$$

$$0{,}125 = \frac{0{,}28}{0{,}826 \times 0{,}182}\left[\phi\left(\frac{h_4}{0{,}28}\right) - \phi\left(\frac{0{,}10}{0{,}28}\right)\right],\ \phi\left(\frac{0{,}10}{0{,}28}\right) = -0{,}251$$

$$\phi\left(\frac{h_4}{0{,}28}\right) = -0{,}184\,,\ h_4 = 0{,}082m$$

h_5 su yüksekliğinin hesaplanması

$$\Delta x = \frac{H_0}{\mu_s \psi}\left[\phi\left(\frac{h_5}{H_0}\right) - \phi\left(\frac{h_4}{H_0}\right)\right]$$

$$0{,}125 = \frac{0{,}28}{0{,}826 \times 0{,}182}\left[\phi\left(\frac{h_5}{0{,}28}\right) - \phi\left(\frac{0{,}082}{0{,}28}\right)\right], \phi\left(\frac{0{,}082}{0{,}28}\right) = -0{,}184$$

$$\phi\left(\frac{h_5}{0{,}28}\right) = -0{,}117\,,\ h_5 = 0{,}068m$$

Sonuç olarak h_1, h_2, h_3, h_4, h_5 su yüksekliklerinin hesaplamaları tamamlandı. İkinci aşamada hesaplanan su yüksekliklerine göre yönlendirilen debile hesaplanacaktır.

q_2 debisinin hesaplanması

$$\Delta x = \frac{H_0}{\mu_s \psi}\left[\beta\left(\frac{q_2}{q_{\max}}\right) - \beta\left(\frac{q_1}{q_{\max}}\right)\right]$$

$$q_{\max} = 1{,}705 \times H_0^{\,3/2} = 1{,}705 \times 0{,}28^{3/2} = 0{,}253 m^3/s/m$$

β fonksiyonu ilgili denklem ile ve ya Çizelge2.1 yardımı ile çözülebilmektedir.

$h_{cr} = \sqrt[3]{\frac{q_1^{\,2}}{g}} = \sqrt[3]{\frac{0{,}25^2}{9{,}81}} = 0{,}185m,\ h_{cr} > h_1 = 0{,}16m$, akış sel rejiminde.

$$\beta\left(\frac{q_1}{q_{\max}}\right) = \frac{1}{2} \times \arccos\left(\frac{1}{\sqrt{3}} \times \sqrt{2\cos\varphi + 1}\right) - \frac{\sqrt{2}}{2} \times \sqrt{(2\cos\varphi + 1) \times (1 - \cos\varphi)}$$

$$\varphi = \frac{1}{3} \times \arccos\left(1 - 2 \times \left(\frac{0{,}250}{0{,}253}\right)^2\right) + 240^o = 296{,}40^o$$

$\beta\left(\frac{q_1}{q_{\max}}\right) = -0{,}397,\ \beta\left(\frac{q_2}{q_{\max}}\right) = -0{,}330,$ eşitlik ve ya Tablo 1 yardımı ile ,

$$\frac{q_2}{q_{\max}} = 0{,}862\ ,\ q_2 = 0{,}218 m^3 / s / m$$

q_3 debisinin hesaplanması

$$\Delta x = \frac{H_0}{\mu_s \psi}\left[\beta\left(\frac{q_3}{q_{\max}}\right) - \beta\left(\frac{q_2}{q_{\max}}\right)\right]$$

$h_{cr} = \sqrt[3]{\frac{q_2^{\ 2}}{g}} = \sqrt[3]{\frac{0{,}218^2}{9{,}81}} = 0{,}169m,\ h_{cr} > h_2 = 0{,}121m$ akış sel rejiminde.

$$\varphi = \frac{1}{3} \times \arccos\left(1 - 2 \times \left(\frac{0{,}218}{0{,}253}\right)^2\right) + 240^o = 280{,}25^o$$

$\beta\left(\frac{q_2}{q_{\max}}\right) = -0{,}330,\ \beta\left(\frac{q_3}{q_{\max}}\right) = -0{,}262,$ eşitlik ve ya Çizelge 2.1 yardımı ile ,

$$\frac{q_3}{q_{\max}} = 0{,}751\ ,\ q_3 = 0{,}190 m^3 / s / m$$

q_4 debisinin hesaplanması

$$\Delta x = \frac{H_0}{\mu_s \psi}\left[\beta\left(\frac{q_4}{q_{\max}}\right) - \beta\left(\frac{q_3}{q_{\max}}\right)\right]$$

$$h_{cr} = \sqrt[3]{\frac{q_3^{\,2}}{g}} = \sqrt[3]{\frac{0{,}190^2}{9{,}81}} = 0{,}154m,\ h_{cr} > h_3 = 0{,}010m$$ akış sel rejiminde.

$$\varphi = \frac{1}{3} \times \arccos\left(1 - 2 \times \left(\frac{0{,}631}{1{,}289}\right)^2\right) + 240^o = 272{,}78^o$$

$$\beta\left(\frac{q_3}{q_{\max}}\right) = -0{,}262,\ \beta\left(\frac{q_4}{q_{\max}}\right) = -0{,}195$$ eşitlik ve ya Çizelge 2.1 yardımı ile,

$$\frac{q_4}{q_{\max}} = 0{,}648,\ q_4 = 0{,}164m^3/s/m$$

q_5 debisinin hesaplanması

$$\Delta x = \frac{H_0}{\mu_s \psi}\left[\beta\left(\frac{q_5}{q_{\max}}\right) - \beta\left(\frac{q_4}{q_{\max}}\right)\right]$$

$$h_{cr} = \sqrt[3]{\frac{q_4^{\,2}}{g}} = \sqrt[3]{\frac{0{,}164^2}{9{,}81}} = 0{,}140m\ h_{cr} > h_4 = 0{,}082m$$ akış sel rejiminde.

$$\varphi = \frac{1}{3} \times \arccos\left(1 - 2 \times \left(\frac{0{,}484}{1{,}289}\right)^2\right) + 240^o = 267{,}27^o$$

$$\beta\left(\frac{q_4}{q_{\max}}\right) = -0{,}195,\ \beta\left(\frac{q_5}{q_{\max}}\right) = -0{,}128$$ eşitlik ve ya Çizelge 2.1 yardımı ile,

$$\frac{q_5}{q_{\max}} = 0{,}557m^3/s/m,\ q_5 = 0{,}141m^3/s/m$$

Son olarak bulduğumuz q_5 debisi ızgaralar üzerinden aşarak mansaba geçen debiyi (q_d) ifade eder. Toplam gelen debiden (q_T), q_5 değerini çıkararak ızgara ile sisteme alınan debiyi (q_i) bulabiliriz.

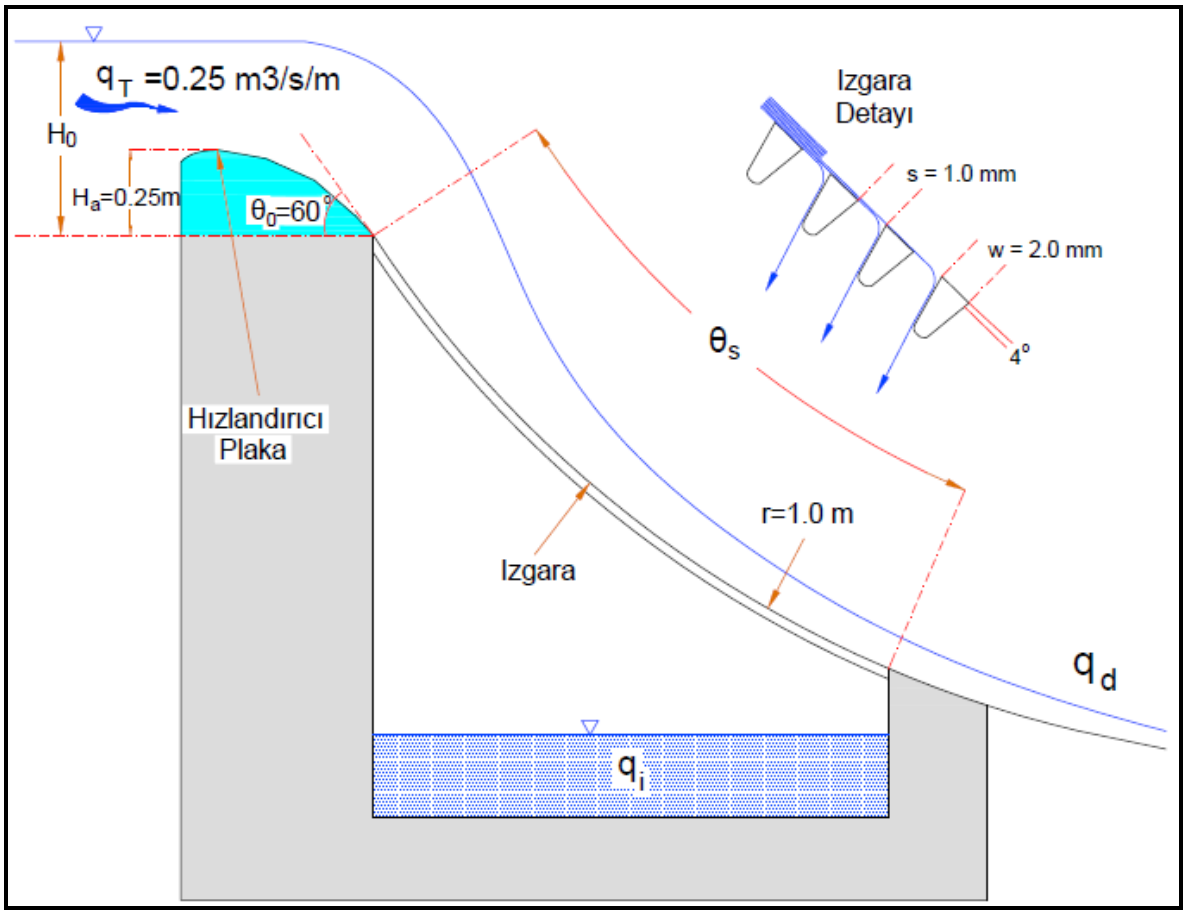
$$(q_i) = (q_T) - q_5 = 0{,}250 - 0{,}141 = 0{,}109 m^3 / s / m$$

Sonuç olarak 0,250 m^3/s/m'lik birim debi gelmesi durumunda sisteme ne kadar su alınabildiği iki farklı yöntem için de hesaplanmıştır. Sistemin çalışması için gerekli olan 0,008 m^3/s/m'lik debi fazlasıyla sisteme alınmış ve uzun bir ızgara seçilerek yaşanacak sorunların sistemin çalışmasını etkilememesi sağlanmıştır. Izgaralar ile fazla su taşkın savaklarından deşarj edilecektir. Çizelge 3.1'de hesaplamalar sonucunda sisteme alınan ve sisteme alınamadan doğrudan mansap yönünde ilerleyen debi miktarları gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Sabit enerji seviyesi ve sabit enerji yüksekliğine göre çözüm sonuçları

	Gelen Debi	Sisteme Alınan Debi	Sisteme Girmeden Mansaba Giden Debi
Sabit Enerji Seviyesi	0,250 m^3/s/m	0,106 m^3/s/m	0,144 m^3/s/m
Sabit Enerji Yüksekliği		0,109 m^3/s/m	0,141 m^3/s/m

3.2. Coanda Tipi Su Alma Yapılarının Sayısal Çözüm Örneği



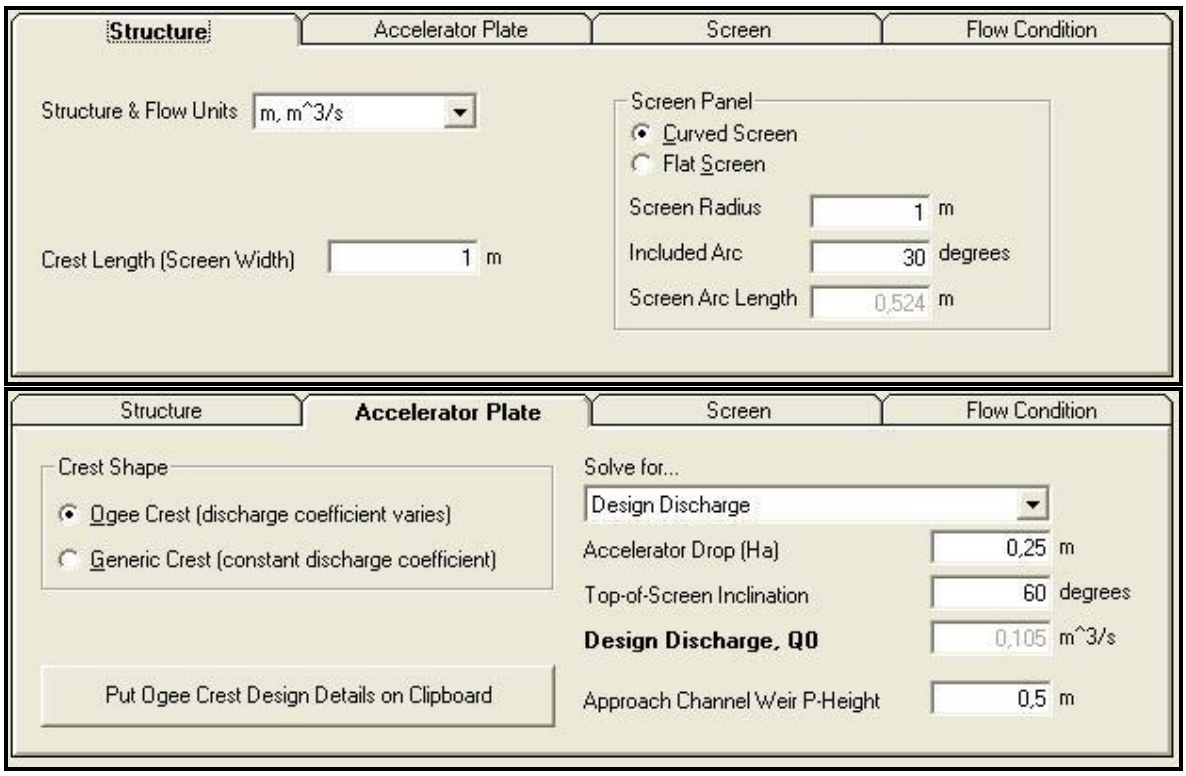
Şekil 3.4. Coanda tipi su alma yapısı çözüm örneği çizimi

(q_T)=0,250m^3/s/m	H_a=0,25 m	w = 2,00 mm
r=1,00 m	θ_0 = 60^o	s = 1,00 mm
θ_S = 30^o	$Ø$= 4^o	

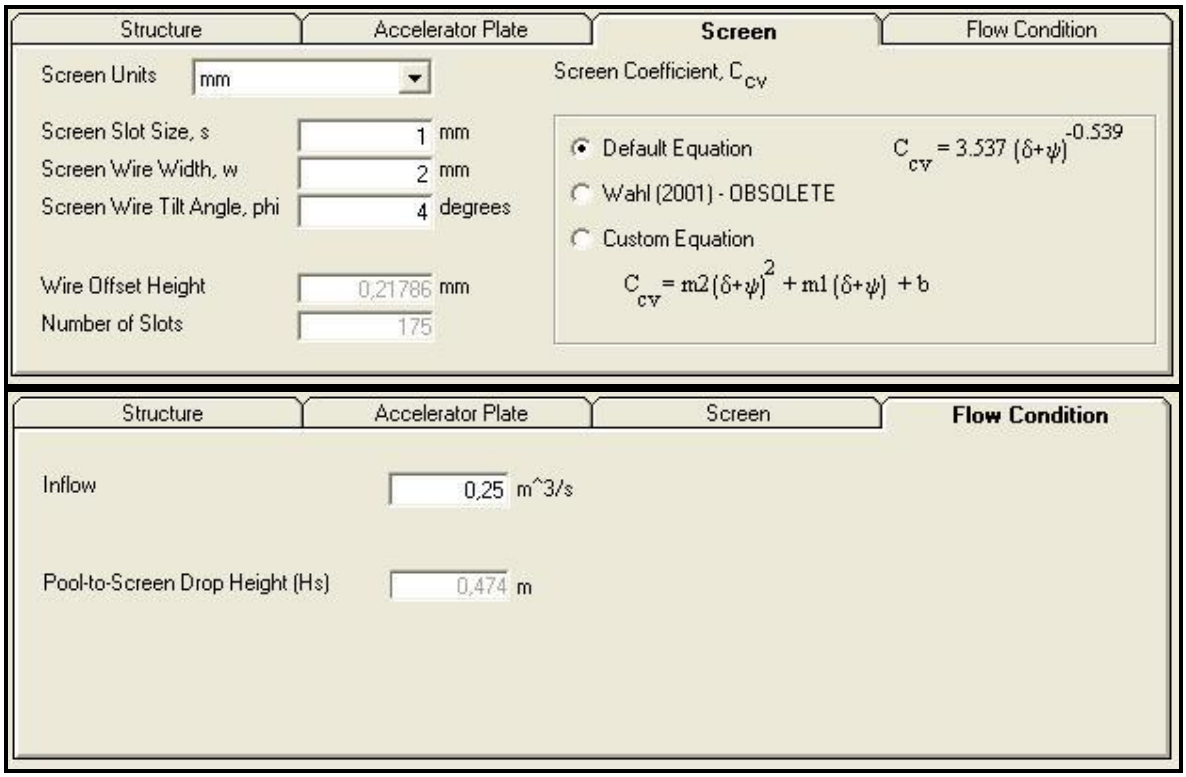
Şekil 4.4'te toplam gelen debinin (q_T) 0,250 m^3/s/m, hızlandırıcı plaka dikey yüksekliğinin (H_a) 0,25 m, iç bükey ızgara yarıçapının (r) 1,0 m, açısının (θ_s) 30^o, ızgara başlangıç eğiminin (θ_0) 60^o olduğu coanda tipi su alma yapısı verilmiştir. Çubuklar arası boşluğun (s) 1,0 mm ve çubuk genişliğinin (w) 2,0 mm ve birbirine göre 4^o açı ile yerleştirilmiş çubukların seçildiği sistemin ızgaralar ile sisteme alınacak debi (q_i) hesabı yapılacaktır.

Çözüm

Verilen değerler ilgili sekmelere Resim 3.2 ve Resim 3.3'de olduğu gibi girilir.

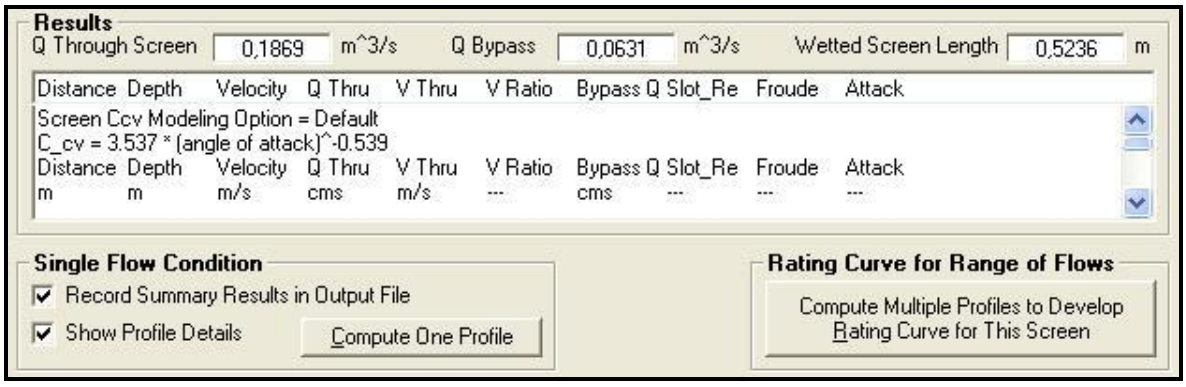


Resim 3.2. Coanda tipi su alma yapısı yapı ve hızlandırıcı plaka yazılım girdileri



Resim 3.3. Coanda tipi su alma yapısı ızgara ve akış durumu yazılım girdileri

Izgara yay uzunluğu ve tasarım debisi gibi değerlerin çözüm başlatılmadan önce otomatik olarak hesaplandığı görülmektedir. Girdiler çözümlendiğinde ızgaralar ile içeri alınan debinin (q_i) 0,1869 $m^3/s/m$, sisteme alınmadan memba tarafına gönderilen debinin 0,0631 $m^3/s/m$ olarak hesaplandığı sonuçlar sekmesinde verilmiştir.(Resim 3.4).



Resim 3.4. Coanda tipi su alma yapısı sonuç sekmesi

Yaklaşık olarak aynı ızgara uzunluğuna sahip coanda ve tirol tipi ızgaralara aynı birim debi verildiğinde coanda tipi ızgaraların tirol tipi ızgaralara göre çok daha

performanslı olduğu açıkça görülmektedir. Sonuçlara göre yapılan kıyaslama Çizelge 3.2'de verilmektedir.

Çizelge 3.2. Coanda ve tirol tipi ızgara çözüm sonuçları

	Gelen Debi	Izgara Uzunluğu	Sisteme Alınan Debi	Performans
Tirol	0,250 m^3/s/m	0,5 m	0,106-0,109 m^3/s/m	%42,4-%43,6
Coanda		0,524 m	0,187 m^3/s/m	%74,8

Görüldüğü üzere tasarlanan tirol tipi ızgara gelen debinin %42-%44'ünü sisteme alabilirken coanda tipi ızgara ise yaklaşık %75'ini sisteme dahil edebilmektedir.

Yazılım ile çözüm yapıldıktan sonra detaylı sonuçlar Çizelge 3.3'te olduğu gibi alınabilmektedir. Detaylı sonuç tablosunda ızgara boyunca çeşitli uzaklıklarda su derinliği, su hızı, ızgaralar ile içeri alınan debi, ızgaralardan içeri debinin hızı ve mansaba giden debinin miktarı ayrı ayrı görülmektedir.

Çizelge 3.3. Coanda tipi su alma yapısı detaylı sonuç tablosu

Distance	Depth	Velocity	Q Thru	V Thru	V Ratio	Bypass Q	Froude
m	m	m/s	cms	m/s	---	cms	---
0	0,0859	2,9087	0	0	0	0,25	2,7136
0,018	0,0822	2,9668	0,0061	1,0195	2,91	0,2439	2,7792
0,0359	0,0786	3,0232	0,0122	1,0286	2,9391	0,2378	2,8459
0,0539	0,0752	3,0779	0,0184	1,037	2,9681	0,2316	2,9138
0,0718	0,072	3,1309	0,0247	1,0447	2,9971	0,2253	2,9832
0,0898	0,0688	3,1825	0,031	1,0517	3,0259	0,219	3,0542
0,1077	0,0658	3,2326	0,0373	1,0582	3,0549	0,2127	3,1271
0,1257	0,0629	3,2813	0,0437	1,064	3,0839	0,2063	3,2022
0,1436	0,0601	3,3287	0,0501	1,0693	3,1131	0,1999	3,2796
0,1616	0,0573	3,3748	0,0565	1,0739	3,1426	0,1935	3,3597
0,1795	0,0547	3,4196	0,063	1,078	3,1722	0,187	3,4427
0,1975	0,0521	3,4632	0,0695	1,0814	3,2024	0,1805	3,529
0,2154	0,0496	3,5056	0,076	1,0843	3,2329	0,174	3,619
0,2334	0,0472	3,5468	0,0825	1,0866	3,264	0,1675	3,7129
0,2513	0,0449	3,5869	0,089	1,0884	3,2956	0,161	3,8113
0,2693	0,0426	3,626	0,0955	1,0896	3,3279	0,1545	3,9147
0,2872	0,0404	3,6639	0,1021	1,0902	3,3609	0,1479	4,0236
0,3052	0,0382	3,7009	0,1086	1,0902	3,3947	0,1414	4,1387
0,3231	0,0361	3,7367	0,1152	1,0896	3,4295	0,1348	4,2607
0,3411	0,034	3,7716	0,1217	1,0884	3,4653	0,1283	4,3904
0,359	0,032	3,8055	0,1282	1,0866	3,5023	0,1218	4,5289
0,377	0,03	3,8384	0,1347	1,0842	3,5405	0,1153	4,6773
0,3949	0,0281	3,8704	0,1412	1,0811	3,5801	0,1088	4,8371
0,4129	0,0262	3,9014	0,1477	1,0773	3,6214	0,1023	5,0099
0,4308	0,0244	3,9315	0,1541	1,0729	3,6645	0,0959	5,1977
0,4488	0,0226	3,9607	0,1606	1,0677	3,7096	0,0894	5,4031
0,4668	0,0208	3,989	0,1669	1,0618	3,757	0,0831	5,6291
0,4847	0,0191	4,0163	0,1733	1,055	3,807	0,0767	5,8795
0,5027	0,0174	4,0428	0,1796	1,0473	3,8601	0,0704	6,1595
0,5236	0,0155	4,0726	0,1869	1,0372	3,9264	0,0631	6,532

4. TİROL VE COANDA TİPİ SU ALMA YAPILARININ İLLER BANKASI PROJELERİNDE UYGULANMASI

İlbank A.Ş. yerel yönetimlere kentsel ihtiyaçlarının karşılanması için proje üretmek, geliştirmek ve teknik destmek vermek amacıyla daha çok altyapı projelerinde faaliyet gösterse de Türkiye genelinde enterkonnekte sisteme geçilmeden önce Bankamız tarafından o dönemde kendisine verilen yetki ve sorumlulukları çerçevesinde küçük çapta birçok hidroelektrik santralin yapımında rol almıştır. (Çizelge 4.1)

Çizelge 4.1. Türkiye'deki mikro, mini ve küçük tip HES'lerin kuruluşlara göre dağılımı [22]

Yapan kuruluş	Mikro HES (adet)	Mini HES 100 kW (adet)	Küçük HES 101-1000 kW (adet)	Toplam
İLLER BANKASI	42	59	11	112
DSİ	-	5	3	8
ETİBANK	-	-	2	2
SÜMERBANK	-	-	2	2
MKEK	1	-	-	1
YSE	14	4	-	18
BELEDİYELER	2	2	2	6
TÜCCAR/SANAYİCİ	1	-	1	2
BELİRLENEMEYEN	13	19	2	23
TOPLAM	73	89	23	185

Mikro, Mini ve Küçük HES proje ve işletme çalışmaları halen devam etmektedir. Verimli çalışan bir sistemin etkisi HES projelerinde, içmesuyu projelerine göre daha görünür olacaktır. Bakım, temizleme çalışmalarının azalması ve türbin, pompa gibi ekipmanların ömrünün uzaması doğrudan enerji gelirinde bir farka sebep olacağından bu konu HES projelerinde ayrıca önem arz eder.

Izgara ile su alma yapıları İller Bankası projelerinde eğimin ve sediment taşınımının yüksek olduğu kaynaklarda ve içmesuyu, yağmursuyu ve HES amaçlı kullanılmaktadır. Taşkına karşı dayanıklı, ekonomik olmaları ve işletim açısından yüksek efor gerektirmemeleri sık tercih edilme sebeplerindendir.

Söz konusu iki su alma yapısının birbirine göre tek farkı kullanılan ızgaralardan kaynaklanmaktadır. İller Bankası projelerinde Coanda ızgaraları yerine uygulama pratiği daha fazla olan tirol tipi ızgaralar kullanılmaktadır. İller Bankası Su Alma Yapıları Teknik Şartnamesi'nde tirol tipi su alma yapılarını oluşturan regülatör gövdesi, ızgaralar, toplama kanalı, çökeltim havuzu, taşkın tahliye kanalları gibi bileşenler ile ilgili uygulama kriterleri verilmiştir.

Önceki bölümlerde çözüm yöntemleri ve örnekleri verilen tirol ve coanda su alma yapılarının uygulama projeleri, birbirine göre avantajları ve dezavantajları ile ilgili bilgiler bu bölümde verilecektir. Kıyaslama yapılırken temel olarak, ülkemizde mevcut işletmede olan İkizdere Regülatörü'nden (tirol tipi) ve yurtdışında faaliyette olan coanda tipi su alma yapılarından elde edilen gözlemlere ve testlere dayalı sonuçlara yer verilecektir.

İkizdere HES Rize ilinin İkizdere ilçesinin kuzeyinde Çamlık deresi üzerine tesis edilmiştir. İller Bankası tarafından 1961 yılında tamamlanarak işletmeye alınmıştır. İlk tasarım çok iyi olmadığından, çökeltim maddesi ve su alma yapılarında fazlasıyla birikim oluşmuş, tesisin işletilebilmesi için sürekli ızgara ve ızgara önü temizliği gerekmiştir. 2009 yılında yapılan yenileme çalışması ile beraber tesis daha verimli ve güvenli hale getirilerek işletime alınmıştır. Böylece, çalışan sayısının 38'den 22'ye düşürülmesi ile hem işgücü kaybı azaltılmış, hem de enerji faydası elde edilmesi planlanmıştır.

4.1. Izgara Kapasitesi

İngiltere'de inşa edilen Keswick Regülatörü'nde su ile taşınan sediment ve yabancı maddelerin türbinleri etkilemesi ve sistemin verimini aşırı düşürmesinden dolayı, eski su alma yapısı sistemi coanda tipi bir ızgara ile değiştirilmiştir. Coanda tipi su alma yapısının kurulumundan itibaren 15 aylık süre. boyunca yapılan ölçümlere göre ızgara kapasitesinde akım ayrılması kaynaklı %4 oranında bir düşüş gözlemlenmiştir. Kapasiteyi etkileyecek herhangi tıkanıklık ve ya ızgaralarda aşınma meydana gelmediği raporlanmıştır[23].

Ülkemizde yaygın olarak kullanılan tirol tipi su alma yapılarında ise sık sık tıkanmalar meydana gelmekte ve bu su alma kapasitesinde ciddi kayıplara neden olmaktadır. Meydana gelen tıkanıklıklar düzenli aralıklarla yapılan bakım ve temizleme

çalışmaları ile ortadan kaldırmaktadır. Bu çalışmalar sırasında sistem durdurulduğundan enerji ve verim kaybına sebep olmaktadır.

(a) (b)

Resim 4.1. Coanda ve tirol tipi su alma yapıları [24]

Resim 4.1.a'da bir coanda su alma yapısı, Resim 4.1.b'de ise ülkemizde işletimde olan Kale Regülatörüne ait tirol tipi su alma yapısı görülmektedir. Coanda tipinde ızgaralar arası boşlukların daha az olması ve tirol tipinin aksine çubukların akışa paralel yerleştirilmesi birikimi engelleyen en temel faktörlerdir.

4.2. Bakım ve Temizleme

Coanda tipi ızgaralar üzerinde gerek çubuklar arasındaki mesafenin çok az, gerekse tasarım geometrisinin birikimi önleyecek şekilde olmasından dolayı sediment birikimine sık rastlanmamaktadır. Kendi kendini temizleme özelliği ile bilinen bu tip yapılarda bakım ve temizleme çalışmaları minimum düzeydedir.

Tirol tipi ızgaralarda ise işletim aşamasında sık sık tıkanmalar meydana gelebilmekte, bu sebeple sürekli olarak bakım ve temizleme çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Izgaralar arasına giren istenmeyen parçacıklar suyun sisteme girişinin engellenmesine, akış düzeninin bozulmasına ve sonuç olarak sistemin verimli çalışamamasına neden olmaktadır.

Resim 4.2. İkizdere regülatörü tirol tipi su alma yapısı

Resim 4.3. İkizdere regülatörü tirol tipi su alma yapısında akış düzeni bozulması

Resim 4.2.'de Türkiye'nin ilk tirol tipi su alma yapısı olan İkizdere Regülatörü görülmektedir. Izgara çubukları arasına sıkışan parçacıklar ve ızgaraya takılan istenmeyen maddeler sebebiyle Resim 4.3'te olduğu gibi akış düzeni bozulmuş, gelen debi içeri alınamadan mansaba yönlenmek zorunda kalmıştır.

4.3. Donma Şartlarına Karşı Direnç

Tirol ve coanda tip ızgaralarda karşılaşılan en büyük problemlerden biri de soğuk mevsimlerde ızgaraların üzerinde meydana gelen buzlanmanın sisteme su alınmasını engellemesidir. Özellikle, coanda tiplerinde çubuklar arası mesafenin çok az olması bu konuda soru işaretlerini beraberinde getirmektedir.

Coanda tipi ızgaralar kullanılan Keswich Regülatörü'nde yapılan 15 aylık izleme raporuna göre 1999-2000 kış dönemi boyunca -2^{o}'ye kadar düşen soğuk koşullarda dahi buzlanma ve ya buzlanmadan kaynaklanacak herhangi bir tıkanıklığın yaşanmadığı belirtilmiştir[23].

Resim 4.4. Kış mevsiminde işletmede olan bir coanda tipi su alma yapısı [25]

Buz laboratuvarına inşa edilmiş 2 mm kalınlığında,1 mm aralıklarla yerleştirilmiş çubuklardan oluşan panele sahip olan bir coanda tipi su alma yapısında hidrolik ölçüm aletleri, çevrimiçi kamera kullanarak ve saha gözlemleri yaparak çalışılmıştır. Bir çok donma işlemi gözlemlenmiş ve buzlanma ile ilgili kritik hidrolik koşullar değerlendirilmiştir. İki tip buz formasyonu öne çıkmıştır. Birinci tip, yüzen buz parçacıklarının altında boşluklar oluşacak şekilde ızgara üzerine yapışması oluşan durum, ikinci tip formasyon ise çok düşük sıcaklıklarda ızgara üzerinde blok halinde buz oluşumu olarak tanımlanmıştır. sonucu Çalışmaları sonucunda, ızgaraların soğuk kış koşullarında zaman zaman kapasitesinin düşmesine rağmen performanslarının iyi olduğunu belirtmişlerdir. 2011-2012 kış dönemi boyunca birkaç dönem ızgara kapasitesinin azalması ve ya ızgaranın tamamen buz ile kaplanması durumu oluşmuştur. Izgaranın buz ile kaplanması su sıcaklığının çok düşmesi, buz parçalarının oluşumu ve sıcaklığın 0°C'nin altına düşmesi ile meydana gelmiştir. Izgara buzun çözülmesinden sonra herhangi bir müdahaleye gerek kalmadan işletime devam etmekle beraber, tam buz ile kaplanması durumunda dahi buzların altından geçip sisteme giren sular ile iyi bir şekilde çalışabilmiştir. Çalışmalar, bazı dönemler ızgara kapasitesinde düşmeler meydana gelmesine rağmen, coanda tipi ızgaraların soğuk iklimlerde uygun şekilde performans gösterdiğini belirterek sonuçlandırılmıştır[16].

Her iki tip yapı da soğuk koşullarda ızgara kapasitesinde düşmeye sebep olsa da, coanda tiplerinde çubuklar arası mesafenin az oluşunun sisteme ayrıca bir olumsuz etkisi olmadığı görülmektedir. Bkz. Resim 4.4'te kış koşullarında işletmede olan bir coanda tip su alma yapısı verilmektedir.

4.4. Canlı Yaşamı, Bakteri ve Alg Oluşumu

Su alma yapılarının tasarımın gözetilmesi gereken bir diğer önemli faktör de tasarımın çevreye olumsuz etki yaratmayacak şekilde yapılmasıdır. Izgaralar ile yapılan sistemler bu açıdan, karşıdan alışlı yapılara göre daha çevre dostudur. Suda yaşayan canlılar, sisteme alınamayan fazla su ile beraber ızgara üzerinden mansap tarafına devam ederler. Coanda tipi ızgaraların 1 mm aralıklı çubuklardan imal edilmesi bu konuda da daha öne çıkmasını sağlamaktadır. Küçük balıklar ve balık yumurtalarının dahi bu denli küçük aralıklardan geçişinin zor olmasından dolayı canlı yaşamı daha az etkilenmektedir.

Çevresel şartlara bağlı olarak ızgaralar üzerinde bir alg tabakası yerleşebilmektedir. Izgara kapasitesinin düşmesine sebep olan bu tabaka basit bir fırçalama işlemi ile temizlenebilmektedir.

4.5. Dayanım

Bu tip yapılarda en önemli bileşenin ızgaralar olmasından dolayı, ızgaraların dayanımı ve bütünlüğünün bozulmaması çok önemlidir. Ağaç gövdeleri ve kaya parçalarının sürüklendiği taşkın mevsimlerinden sonra yapılan gözlemlerde ızgaralarda herhangi bir hasar oluşmadığı, ızgaraların kesitinden ve yerleştirilme açısından dolayı gelen yabancı maddenin ızgaraya çarpmak yerine üzerinden yuvarlanarak mansaba gitme eğilimi gösterdiği gözlemlenmiştir.

Tirol tiplerinde paslanmaz çelik profillerinin kullanılması ve coanda tiplerinin 304 paslanmaz çelikten imal edilmesi fiziksel darbelere karşı dirençli olmasını sağlamaktadır.

Çok yüksek debili ve su ile taşınan parçaların sisteme tehlike yaratma riskinin yüksek olduğu nehirlerde ise memba tarafına blokaj önerilmektedir.

Resim 4.5'te İkizdere Regülatörü'nün üzerine inşa edildiği Çamlık Deresi'nin debisinin ve malzeme taşınımının tesise zarar verecek derecede yüksek olduğu görülmektedir. Su ile sürüklenen kaya parçalarının bu denli büyük olması ekstra önlemler gerektirmektedir.

Resim 4.5. İkizdere regülatörü memba tarafı blokaj yapılmadan öncesi görünüşü

Yapılan çalışmalar sonucunda, ızgaraların tıkanmasının yanı sıra, su ile taşınan parçaların büyüklüğü sürekli bakım ve temizleme çalışmalarına sebebiyet verdiği ve işletmede büyük kayıplara neden olduğu görülmüştür. Bu kayıpları önlemek için tesis yenileme çalışmalarına alınmış, ızgaralar değiştirilmiş ve Resim 4.6'da görüldüğü gibi memba yönüne betonarme bloklar yerleştirilmiştir.

Resim 4.6. İkizdere regülatörü memba tarafı blokaj yapıldıktan sonra görünüşü

4.6. Maliyet

Coanda Tipi su alma yapıları kendi kendini temizleyebilme özelliği, bakım ve temizleme maliyetlerinin düşüklüğü sebebiyle tirol tipi su alma yapılarına göre ekonomik açıdan daha üstündür. Ayrıca, işletim aşamasında sediment kaynaklı oluşabilecek problemlerin verim kaybına neden olacağı göz önünde bulundurulur ise, bu fark giderek artmaktadır.

Bunların dışında, coanda tipi su alma yapılarında, kullanılan ızgara çubukları birbirine göre yaklaşık 1,00 mm ile yerleştirildiğinden, sisteme girebilecek parçacık miktarı 1,00 mm den daha küçük olacaktır. Bu boyutlardaki küçük parçacıkların sisteme girişi tehlike arz etmediğinden, coanda tipi su alma yapılarında çökeltim havuzuna ihtiyaç duyulmamaktadır. Çökeltim havuzunun yapımı ve bakımı kimi zaman maliyetli, topografik koşullara göre ise kimin zaman imkânsız olabilmektedir. Ayrıca, sistemin düzgün ve

sağlıklı çalışması pompa ve türbin gibi yardımcı ekipmanların çalışma ömrünü uzatacağından ek faydalar getirmektedir.

Çizelge 4.2. Coanda tipi su alma yapısı tip, ebat ve fiyat tablosu

Coanda Izgaraları Tip, Ebat Ve Fiyat Tablosu				
Tek Başına Kurulumu Yapılan Izgaralar				
Tip	Genişlik (mm)	Yükseklik (mm)	Ağırlık (kg)	Fiyat £ (GBP)
E-300	300	400	8	2.045
E-900	900	400	24	2.680
E-1500	1500	400	32	3.260
D-300	300	705	14	2.460
D-1200	1200	705	41	3.790
D-1500	1500	705	49	4.085
B-1200	1200	1270	72	4.680
Gruplanarak Kurulumu Yapılan Izgaralar				
F-1000	1000	450	27	2.245
C-750	750	705	27	2.370
C-1500	1500	705	50	3.555
AB-500	500	1270	35	2.534
AB-1000	1000	1270	63	3.800
L-1000	1000	1925	127	5.975

Çizelge 4.1'de coanda tipi ızgaraların tip, ebat ve fiyat tablosu verilmektedir. Görüldüğü üzere seçilecek tipe göre 2045 ile 5975 pound (£) arasında değişen fiyatlara sahip hazır ızgaralar kullanılmaktadır.

Diğer taraftan, tirol tipi su alma yapılarında kullanılan ızgaralar çok yaygın kullanmak ile beraber bir çok yerde sanayi tipi ızgaralar kullanılarak, değişimi yapılabilmekte ve kolaylıkla sistem yenilenebilmektedir.

İller Bankası A.Ş. 2016 Yılı Atıksu Tesisleri Birim Fiyat Cetvelleri'nde 23.301/İB-3 poz numarası ile her türlü paslanmaz çelik kapak ve savak kapağı yapılması birim fiyatı 42,15 TL/kg olarak belirlenmiştir. Bu poz;

"Her türlü regülatör, pissu ve temizsu arıtma tesisleri, kum tutucu gibi tesislerde suyu tutmak veya boşaltma maksadıyla yapılan kapakların imali için, gerekli paslanmaz çelik sac levha, paslanmaz çelik çubuk, perçin vb, malzemenin tenim ve tedariki ile proje ve teknik şartnamesine göre kapağın imali, aksamının birleştirilmesi, yerine montajı ve ankrajın yapılması, kapağı kaldırıp indirmek ve bir de bunun eşik ve yanlarla temas mahallerini su sızdırmaz bir hale getirmek maksadiyle, projesine göre, bulon,

tambur, her nevi dişli çarklar, sonsuz vidalar, miller, tekerlek milleri, kapak kızakları, bronz kovanları, muhafaza kutu kapaklan, mesnetler, hususi kürsiye ve bilyah veya projesine göre bronz yataklardan teşkil edilen torna, freze ve planya işleri, tamamlanan kapak ve kaldırma tertibatının yerine montajı için gerekli her türlü işçilik, malzeme ve zaiyat, makina, ateîye, alet edevat giderleri ile iş yerinde yükleme, yatay ve düşey boşaltma, yüklenici karı ve genel giderler muayene ve kabul tecrübeleri dahil, her türlü paslanmaz çelik kapak ve savak kapağı (Kapak kaldırma tertibatı ve sızdırmazlık dahil) yapılmasının; 1 kg fiyatı" [26].

olarak tanımlanmıştır.

Göle (Ardahan) İçme Suyu Kesin Projesi'nde tirol tipi su alma yapısı için yaklaşık olarak ızgara ağırlığı 160 kg/m olarak hesaplanmıştır. Başka bir deyişle ızgara için 160x42,15 = 6744 TL tutarında keşif tutarı belirlenmiştir.

Aynı su alma yapısında coanda tipi bir ızgara tercih edilseydi Çizelge 4.1'de gösterilen E-900 tipinde bir coanda ızgara seçilmesi gerekecekti. Bedeli 2680 pound (£) belirlenen bu ızgara yıllık kura[1] göre yaklaşık 10184 TL'ye mal olacaktı.

Fakat yapılması öngörülen çökeltim havuzunun maliyetli ile tirol tipi ızgaraların maliyetinin toplamının coanda tipi ızgara maliyetini geçeceği ortadadır.

Keswich Regülatörü'nde coanda tipi su alma sistemine geçildikten sonra yapılan maliyet-fayda analizine göre ilk 5 yılda 14000£, ilk 10 yılda 30000£ fayda sağlandığı hesaplanmıştır. Bu farkın sebebi olarak, özellikle sonbahar mevsiminde %50 oranında tıkanan klasik tirol tipi ızgaraların, kendi kendini temizleyen, hiç tıkanıklık yaşanmayan coanda tipi ızgaralarla ile değiştirilmesi olarak açıklanmıştır[23].

[1] Gösterge Niteliğinde 2016 yılı Merkez Bankası Kuru Pound için 3,80'dir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Nehir eğiminin, sediment taşınımının yüksek olması ve topografik koşulların karşıdan alışlı klasik su alma yapılarının inşaatına izin vermemesi durumlarında, karşılaşılacak olası problemleri engellemek amacıyla tirol ve coanda tipi su alma yapıları tercih edilmektedir.

Tirol ve coanda tipi su alma yapılarını, birbirinden ayıran en önemli fark tasarım geometrileridir. Tirol tipi yapılarda, akışa paralel olarak yerleştirilen ızgaralar yardımı ile su orifis etkisi ile sisteme alınmaktadır. Coanda tipinde ise, akışa dik olarak 1 mm aralıklarla ve birbirine göre açılı olacak şekilde iç bükey bir profil üzerine yerleştirilen çubuklar ile hem orifis hem kesme etkisinden yararlanılmaktadır. Tasarım geometrilerindeki bu keskin farklılıklar hemen hemen her alanda değişik sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır.

Bu çalışmada, hidrolik hesaplama yöntemlerinden, deneylerden ve mevcut işletmede olan projelerden elde edilen verilerden yararlanılarak, tasarımcılar için iki sistemin birbirine göre avantajlarını sunan bir rehber hazırlanması hedeflenmiştir. Bunun için, çalışmanın ilk aşamasında, tirol tipi ve coanda tipi ızgaraların hidrolik tasarımı açıklanmıştır. İkinci aşamada ise verilen tasarım yöntemlerine göre sayısal örnekler çözülmüştür. Son olarak, mevcut işletmede olan örneklerden ve çeşitli çalışmalardan elde edilen verilerden faydalanılarak, iki tip ızgara kapasitesi, bakım ve temizleme, donma şartlarına karşı direnç, canlı yaşamı, dayanım ve maliyet gibi konularda birbiriyle karşılaştırılmıştır.

Bir tasarımcı, bu çalışmada verilmiş olan çözüm yöntemleri ve kıyaslamaları değerlendirerek, hangi tip su alma yapısı seçeceğine karar verip; tasarım parametrelerine göre ızgaraların boyutlarını hesaplayabilmektedir.

Izgara çubuklarının coanda tiplerinde birbirine göre daha yakın, akışa dik olarak ve belirli bir açı ile yerleştirilmesi, birikimi önlemek ile beraber kesme ve orifis etkisi ile çalışan sistemin sadece orifis etkisine göre çalışan tirol tiplerine göre daha etkili çalışmasını sağlamaktadır. Verilen çözüm örneğinde, yaklaşık aynı boyutlara sahip coanda

tipi ızgaraların tirol tipi ızgaralara göre performansının yaklaşık %30 daha fazla olduğu görülmüştür.

Tirol tipi ızgaraların sık sık tıkanması, bakım ve temizleme çalışmaları için sistemin durdurulması, işletim aşamasında verim kayıplarına sebep olmaktadır. Diğer yandan, coanda tipi yapılar kendi kendini temizleyebilecek şekilde tasarlandığından, olası tıkanma, bakım riskini azaltmakta ve dolayısı ile sistemin verimini arttırmaktadır. Sistemin daha verimli, daha temiz çalışması beraberinde büyük faydalar getirecektir. Özellikle, İlbank A.Ş. tarafından da projelendirilen mikro, mini ve küçük HES projelerinde istenen debinin, istenen şartlarda devamlı olarak alınabilmesi enerji gelirinde net bir artışa sebep olacaktır. Ayrıca, türbinlerin ve içmesuyu projelerinde kullanılan pompaların, sorunsuz çalışarak ömrünün uzaması kullanıcılar için ek fayda getirecektir.

Izgaraların, soğuk kış mevsimlerinde buz ile kaplanması her iki tip ızgaranın da kapasitesinde azalmaya sebep olmaktadır. Yapılan gözlemlere göre, sıcaklığın 0^o altına düştüğü durumlarda dahi suyun buz tabakası altından geçerek sisteme girdiği görülmüştür. Özellikle coanda tipi ızgaralar ile ilgili yapılan çalışmalarda, ızgaranın tamamen buzla kaplanması durumunda dahi beklenenden iyi bir performans gösterdiği belirtilmiştir.

Canlı yaşamının devamlılığının sağlanması konusunda ızgara ile su alma yapıları karşıdan alışlı yapılara göre daha çevre dostudur. Gerek tirol tipi ızgaralar, gerekse coanda tipi ızgaralarda fazla su ile taşınan balık, balık yumurtaları gibi canlılar doğrudan mansap yönüne devam eder. Coanda tiplerinin çok daha küçük aralıklarla tasarlanması, küçük canlıların sisteme girme riskini daha da azaltmaktadır. Dolayısı ile canlı yaşamının devamlılığı söz konusu olduğunda, coanda tipi ızgaralar daha etkilidir.

Izgaralar, gelen yabancı maddelerin, ızgaraya çarpmak yerine ızgara üzerinden yuvarlanarak mansaba gitmesini sağlayacak geometride tasarlanmıştır. Paslanmaz çelikten üretilen ızgaraların, fiziksel darbelere ve korozyona karşı dirençli olduğu belirtilmiş olup, su ile taşınan malzemelerin daha büyük tehlikeler yaratmasının söz konusu olduğu durumlarda beton blokaj sistemlerinin kullanılması önerilmiştir.

Ülkemizde yaygın olarak kullanılan tirol tipi ızgara ihtiyacı sanayi tipi ızgaralardan karşılandığı için, üretim ve yenileme maliyeti, özel olarak tasarlanmış coanda tipi

ızgaralara göre düşüktür. Fakat, coanda tiplerinde çökeltim havuzuna ihtiyaç duyulmaması ve sistemin daha verimli çalışmasının vereceği katkılar, kurulum ve işletim maliyetleri hesaplanırken göz önünde bulundurulmalıdır. Çökeltim havuzu ile beraber yapılacak bir tirol tipi su alma yapısının, çökeltim havuzuna ihtiyaç duymayan coanda tipi bir yapıya göre daha maliyetli olacağı anlaşılmıştır. Dahası, Karadeniz ve Doğu Anadolu Bölgelerinde daha çok karşılaşılan zorlu arazi koşullarında kimi zaman çökeltim havuzu yapılabilecek bir alan bulunamamaktadır. Bu tip durumlarda coanda tipi ızgaraların tercih edilmesi büyük kolaylıklar sağlayacaktır.

İller Bankası A.Ş. projelerinde uygulama pratiği az olan coanda tipi ızgaraların kendi kendini temizleyebilme, sediment birikimine imkan vermeme, daha verimli ve daha ekonomik olma özellikleri ile, tirol tipi ızgaralara göre işletim, bakım ve çevresel açısından daha üstün olduğu görülmüştür. Ülkemizde yaygın olarak kullanılan tirol tipi ızgaralara alternatif olarak üretilen coanda tipi ızgaraların, İller Bankası A.Ş. projelerinde de kullanımı çoğu zaman ulaşımın ve dolayısıyla bakım işlemlerinin zor olduğu koşullarda ve özellikle HES projelerinde fayda sağlayacaktır.

Yurtdışında uzun yıllardır kullanılan bu sistemin İlbank A.Ş. projelerinde de yer alması ile beraber ızgaraların performansı ile ilgili daha net gözlemler yapılabilecektir. Yapılan gözlemler ve teorik çalışmalar neticesinde coanda tipi su alma yapıları da İlbank A.Ş. Su Alma Yapıları Projesi Teknik Şartnamesinde yer alarak projelerde kolaylıkla kullanılabilecektir.

Ayrıca, coanda tipi ızgaralar ile ilgili ülkemizde mevcut bir akademik çalışma bulunmamaktadır. Yapılacak olan deneyler ve mevcut sistemlerden alınacak veriler ile literatürde yabancı kaynakların yanı sıra yerli çalışmalarda yer alabilecektir.

Yeni bir sistemin kullanılması, sağlayacağı faydaların ve kazandıracağı çeşitliliğin yanı sıra, Bankamızın yenilikçi ve güncel gelişmeleri takip eden bir bakış açısı ile çalıştığını gösteren bir örnek olacaktır.

KAYNAKLAR

1. Kuntzmann, J., and Bouvard, M. (1954). Etude the´orique des grilles de prises d'eau du type 'en-dessous. *La Houille Blanche*, 9(9/10), 569-574.

2. Frank, J. (1956) Hydraulische Untersuchungen für das Tiroler Wehr. *Der Bauingenieur*, 31(3), 96-101.

3. Noseda, G. (1955).*Operation and Design Of Bottom Intake Racks*. Paper presented at the 6th International Association of Hydraulic Research Congress, La Haye.

4. Bianco, G., and Ripellino, P. G. (1994). Attualita` delle opere di presa a traversa derivante e studio con modello idraulico di un tipo di griglia suborizzontale. *Idrotecnica*, 21 (1), 3-12.

5. Drobir, H., Kienberger, V., and Krouzecky, N. (1999). *The Wetted Rack Length Of The Tyrolean Weir*. Institute of Hydraulic Engineering, Vienna University of Technology, Vienna.

6. Özcan, Ç. (1999). *Tirol Tipi Bağlamalarin Hidrolik Hesabi ile ilgili irdelemeler*. Yüksek Lisans Tezi Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsi, Ankara, 23-35.

7. Wahl, T. L., Einhellig, R.F. (2000). *Laboratory Testing and Numerical Modeling of Coanda-Effect Screen*s. Paper presented at Joint Conference on Water Resources Engineering and Water Resources Planning and Management, Minneapolis, Minnesota.

8. Wahl, T. L. (2001). Hydraulic Performance of Coanda Effect Screens. *Journal Of Hydraulic Engineering*, 127(6), 480-488.

9. U.S Department of the Interior Bureau of Reclamation. (2003). *Design Guidance for Coanda Effect Screens*. Denver, Colorado,1-37.

10. Brunella, S., Hager, W.H., Minor, H.E. (2003). Hydraulics of Bottom Rack Intake. *Journal Of Hydraulic Engineering*, 129(1), 2-10.

11. Şahiner, H. (2012). *Hydraulic Characteristics of Tyrolean Weirs Having Steel Racks and Circular-Perforated Entry*. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsi, Ankara, 68-70.

12. Ghosh, S., and Ahmad, Z. (2006). Characteristics of flow over bottom racks. *Water and Energy International*, 63(2),47-55.

13. Kamanbedast, A.A., and Bejestan, M.S. (2008). Effect of Slope and Area Opening on the Discharge Ration in Bottom Intake Structures. *Journal of Applied Sciences*, 8(14), 2631-2635.

14. Yılmaz, N. A. (2010). *Hydraulic Characteristics of Tyrolean Weirs*. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsi, Ankara,54-55.

15. Wahl, T. L. (2013). *New Testing Of Coanda-Effect Screen Capacities*. Paper presented at Hydrovision International 2013, Denver, CO.

16. Nøvik, H., Lia, L., and Opaker, H. (2014). Performance of Coanda-Effect Screens in a Cold Climate. *Journal of Cold Regions Engineering*, 28(4)

17. Çeçen, K., (1962). *Vahşi Derelerden Su alma*. Türkiye: İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi, 87-113.

18. İnternet: Theoriesandideas. Coanda Etkisi. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Ftheoriesandideas.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2013%2F12%2FspoonCoanda.gif&date=2017-03-08, Son Erişim Tarihi: 03.08.2017

19. İnternet: Coandascreen. Açılı Yerleştirilmiş Çubuklar. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.coandascreen.cl%2FCoanda%2520Intake%2520basics.pdf&date=2017-03-08, Son Erişim Tarihi: 03.08.2017

20. İnternet: The United States Bureau of Reclamation. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.usbr.gov%2Fmain%2Fabout%2Fmission.html&date=2017-03-08, Son Erişim Tarihi: 03.08.2017

21. İlbank A.Ş. (2016). *Göle (Ardahan) İçmesuyu Kesin Projesi*. Ankara: İlbank A.Ş., 26.

22. Gürer, İ., ve Tork, K. (1990). Küçük Kapasiteli Hidroelektrik Santrallerin Hidrolojik Planlaması. *TMMOB, Elektrik Mühendisliği*, 35(372)

23. Department of Trade and Industry. (2001). *Coanda Hydro Intake Screen Testing and Evaluation*. Oxfordshire: Harwell Laboratory.

24. İnternet: Aquashear. Coanda tipi su alma yapısı. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.aquashear.com%2Fphoto-gallery.cfm%23prettyPhoto%5Bgallery3%5D%2F3%2F&date=2017-03-08, Son Erişim Tarihi: 03.08.2017

25. İnternet: Aquashear. Coanda tipi su alma yapısı. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.aquashear.com%2Fphoto-gallery.cfm%23prettyPhoto%5Bgallery1%5D%2F4%2F&date=2017-03-08, Son Erişim Tarihi: 03.08.2017

26. İlbank A.Ş. (2016). *2016 Yılı Atıksu Tesisleri Birim Fiyat Cetvelleri*. Ankara: İlbank A.Ş., 24.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı	:	MARAŞ, Cihan
Uyruğu	:	T.C.
Doğum Tarihi ve Yeri	:	05.07.1987 Şanlıurfa
Medeni Hali	:	Evli
Telefon	:	0 (312) 303 37 60
Faks	:	0 (312) 303 37 99
e-mail	:	cmaras@ilbank.gov.tr

Eğitim

Derece	**Eğitim Birimi**	**Mezuniyet tarihi**
Yüksek lisans	Orta Doğu Teknik Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği	2014
Lisans	Orta Doğu Teknik Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği	2010
Lise	Milli Piyango Anadolu Lisesi	2005

İş Deneyimi

Yıl	**Yer**	**Görev**
2013-Halen	İller Bankası Genel Müdürlüğü	Teknik Uzman Yardımcısı
2012-2013	Hidro Dizayn A.Ş.	Proje Mühendisi
2010-2012	Dolsar Müh Müş Ltd. Şti.	Proje Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Turistik geziler, spor

İLBANK
TÜRKİYE'NİN YAPICI GÜCÜ