

50399

**T.C.
CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DALGAKIRAN ALTINDA OLUŞAN
GÖZENEKLİ ORTAMDAN AKIŞIN
SONLU FARKLARLA ANALİZİ**

**Yüksek Lisans Tezi
B. Gültekin SINIR**

Yöneten : Doç. Dr. Ümit GÖKKUŞ

50399

**Ağustos - 1996
MANİSA**

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

DALGAKIRAN ALTINDA OLUŞAN
GÖZENEKLİ ORTAMDAN AKIŞIN
SONLU FARKLARLA ANALİZİ

B. Gültekin SINIR

Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarafından
" İnşaat Yüksek Mühendisi "
Ünvanın Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 02 . 08 . 1996

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 09 . 08 . 1996

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ümit GÖKKUŞ

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Adnan AKYARLI

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Bekir SOLMAZ

Enstitü Müdürü : Doç.Dr. Vural CEYHUN

AĞUSTOS - 1996

MANİSA

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖNSÖZ	I
ÖZET	II
ABSTRACT	IV
ŞEKİL LİSTESİ	V
1. AKIŞIN FİZİKSEL VE MATEMATİKSEL TEORİSİ	1
1.1. Gözenekli Ortamda Laminer Viskoz Akış	1
1.2. Gözenekli Ortamda Türbülanslı Akış	5
1.3. Darcy Kanununun Diferansiyel Biçimi	6
1.4. Gözenekli Ortamdaki Akışkan Akışının Diferansiyel Denklemi	8
1.5. Sınır Şartları	10
2. SONLU FARKLAR YÖNTEMİ	12
2.1. Sonlu Farklar Temel Denklemlerinin Çıkarılması	13
2.2. Sonlu Farklarda Uyumluluk Yakınsama ve Kararlılık	16
2.3. Ağ Yapısının Grid Noktalara Ayırıklaştırılması	18
2.4. Diferansiyel Denklemlerin Sonlu Farklarla Çözümü	20
2.5. Sınır Şartlarının Uyarlanması	23
3. DALGAKIRANIN ALTINDA OLUŞAN SIZMANIN İNCELENMESİ	
3.1. Problemin Tanıtımı	27
3.2. Problemde Yapılan Kabuller	28
3.3. Sınır Şartlarının Tanımlanması	29
3.4. Matematik Modelleme	32
3.5. Çözüm Algoritması	34

4.BİLGİSAYAR PROGRAMI	35
4.1. Bilgisayar Programı	35
4.2. Bilgisayar Programının Çıktıları	44
5.SONUÇ VE ÖNERİLER	84
5.1. Sonuçlar	84
5.2. Öneriler	86
KAYNAKLAR	87



ÖNSÖZ

Dalgakıranlar kıyı koruma ya da korunmuş su alanı oluşturma amaçlı deniz yapılarıdır. Dalgaların enerjilerini kırmak amacıyla inşa edilirler. Yapının bir tarafında dalgalı ortam diğer tarafında ise dalgasız bir ortam bulunmaktadır. Bir tarafta dalgaların deniz tabanında oluşturduğu hidrodinamik ve hidrostatik basınç olmasına karşın diğer tarafta sadece hidrostatik basınç söz konusu olmaktadır.

Dalgakıranın temelinde bulunan zeminin gözenekli bir yapıda olması durumunda oluşacak basınç dağılımı ve gözenekli ortamdaki akışın karakteristiklerinin belirlenmesi için bu tez çalışması yapılmıştır.

İlgili kişi ve kuruluşlara üretilen bilginin yararlı olmasını umarım.

Ağustos 1996 , MANİSA

B.Gültekin SINIR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

B. Gültekin SINIR

Celal Bayar Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Ümit GÖKKUŞ

1996 , Sayfa : 87

DALGAKIRAN ALTINDA OLUŞAN GÖZENEKLİ ORTAMDAN AKIŞIN SONLU FARKLARLA ANALİZİ

Bu tez kapsamında , gözenekli bir ortamın söz konusu olduğu bir zemin üzerine oturan dalgakıranın , dalgalı kesiminde deniz tabanında oluşan hidrodinamik basıncın gözenekli ortamdaki akış üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Gözenekli ortam düzlemsel bir grid sistemle tanımlanmış , yatay ve düşey eksenler boyunca akış özellikleri belirlenmiştir. Dalganın deniz tabanında oluşturduğu kesimler sınır şartları bilinen eksenlerdir.

Dalgalı kesimde değişen basınç koşullarının grid sistem üzerindeki her noktada oluşturacağı basınç ve akış karakteristikleri ; gözenekli ortamın fiziksel yapısına uygun olarak geliştirilen Darcy kanununun diferansiyel biçiminin hakim denklem olarak alınmasıyla hesaplanmıştır.

Problemin çözümünde sonlu farklar yöntemi kullanılmıştır. Bir bilgisayar programı geliştirilerek , belirli bir örneğe dayanan girdiler için program çalıştırılmış ve örneğe ilişkin tatminkar çıktılar elde edilmiştir.

ABSTRACT

A Master's Thesis

B.Gültekin SINIR

Celal Bayar University

Institute of Pure & Applied Sciences

Branch of Civil Engineering

Supervisor : Assoc.Prof.Dr.Ümit GÖKKUŞ

1996, Page : 87

FINITE DIFFERENCE ANALYSIS OF FLOW ON POROUS MEDIA UNDER BREAKWATER

In this thesis, the effects on flow through porous media of hydrodynamic pressure which performs on the bottom of sea side of breakwater due to wave is studied.

Porous media is defined as a planar grid system and the flow characteristics are determined along the horizontal and vertical axes. The boundary conditions on the axes on the sea bottom are known.

Pressure and flow characteristics in each point of grid system due to the pressure conditions changing on the sea bottom are calculated by taking as the governing equation of differential form of Darcy law defining the physical structure of porous media.

The finite difference method is used for obtaining the solution of the mentioned problem. For this case, the computer program is coded, it is run for the certain boundary conditions and the reasonable outputs are obtained.

Key words: Porous Media Flow, Finite Difference Method on Groundwater Flow, Wave Pressure on Sea Bottom

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Akış Aleti	2
Şekil 1.2. Kütlelin Korunumunun Gösterimi	8
Şekil 2.1. Hareketsiz Katı Duvar	23
Şekil 2.2. Üniform Hızla Akışkanın Girişi	25
Şekil 3.1. Grid Sistem	28
Şekil 3.2. Farklı Sınır Şartlarını Gösteren Şekil	30
Şekil 4.1. Dalgakıranın Her Zaman Dilimindeki Şekli	43
Şekil 4.2. $ZA = 0$ ve $ZA = 6$ Anındaki Dalganın Potansiyel Fonksiyon Eğrileri	79
Şekil 4.3. $ZA = 1$ ve $ZA = 5$ Anındaki Dalganın Potansiyel Fonksiyon Eğrileri	80
Şekil 4.4. $ZA = 2$ ve $ZA = 4$ Anındaki Dalganın Potansiyel Fonksiyon Eğrileri	81
Şekil 4.5. $ZA = 3$ Anındaki Dalganın Potansiyel Fonksiyon Eğrileri	82
Şekil 4.6. $ZA = 1.5$ Anındaki Dalganın Potansiyel Fonksiyon Eğrileri	83

1. AKIŞIN FİZİKSEL VE MATEMATİKSEL TEORİSİ

Gözenekli maddeler içindeki akıkan akışının , bir çok mekanizmaları (işleyişleri) olduğu bilinmektedir. Esas işleyiş , basınç farkı şeklinde uygulanan bir kuvvetin meydana getirdiği akıştır.

Dışardan uygulan bir basınçla meydana gelen mekanik akış , basınç farkının sınırları , ortalama basınç , gözenek büyüklüğü vb. bağlı olarak değişik tiplerde olabilir.

1.1. Gözenekli Ortamda Laminer Viskoz Akış

Akışkanın laminer akışı , belirli akış çizgileri ile karakterize edilir. Burada bir akışkan elemanın geçtiği yol , diğer bir akışkan elemanı tarafından izlenir. Bunun karşıtı olan türbülanslı akışta ise akışkan elemanlarının izlediği yollar arasında ancak kısmi bir korelasyon sağlanabilir.

Akışkan viskozitesi , laminer akış durumunda içsel sürtünmenin bir ölçüsüdür. Değişik hızlardaki akışkan plakları arasında kayma kuvvetleri mevcuttur. İdeal bir viskoz akışkan , bir katı yüzeyinden akarken bu yüzeye yapışır. Katı yüzeyindeki akışkan hızı sıfırdır. Akışkanın bu yapışması ve viskozite sonucu , katıya akışkan tarafından bir çekme kuvveti uygulanır. Akışkan , katıyı kendisi ile beraber çekmeye çalışır. Bunun tersi olarak , katı sabitse , sıvıya katı tarafından sıvı hareketinin zıt yönünde , karşı bir kuvvet uygulanır. Bu viskoz direniş , katıdaki çekme kuvvetine eşit ve zıt yönde bir kuvvettir. Düz bir plakta , katı yüzeyi ile ona teğet akışkan arasındaki birim alan için kayma kuvveti , Newton'un

$$F = \mu \left(\frac{dv}{dz} \right)_{\text{katı}}$$

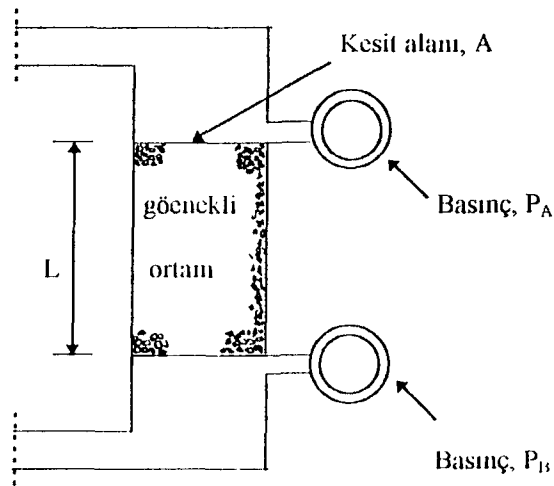
1.1

denklemlerle verilir. Burada μ akışkan viskozitesi ; v , plakanın üzerindeki yüksekliğe bağlı olan akışkan hızı ve z de yüzeyden sıvıya olan uzaklıktır. Türev katı yüzey hesaplanır.

Akışkan gözenekli ortamda akarken , akışkan elemanın hızı , akış yolu boyunca noktadan noktaya değişir. Hızdaki bu ani değişiklikleri meydana getiren kuvvetlerde noktadan noktaya farklıdır.

Doğal gözenekli maddelerin gözenek yapıları , dolayısıyla akış yolları dağınık bir karakter gösterir. Belirli bir akışkan elemanı için , akış yollarındaki dağınık değişimlerin üniform olarak yayıldıkları kabul edilebilir. Aynı zamanda hız değerlerindeki değişimlerinde bir ortalama sıfır ile üniform yayıldıkları beklenebilir. Dolayısıyla kararlı laminer akış için dağınık değişimlerin makroskopik bir hacimde sıfıra gidecekleri beklenebilir.

Katı tarafından sıvıya uygulanan sıfırdan farklı tek makroskopik kuvvet , akışa karşı olan viskoz direnme ile ilgili olanıdır. Kararlı laminer akış için bu kuvvet , sıvı üzerindeki dış ve bünyesel kuvvetlerle dengede olmalıdır. Bu denge koşullarını formüle etmek için Şekil 1.1 deki akış aletini göz önüne alalım



Şekil 1.1. Akış Aleti

Paralel uçları olan A kesitli , L boyundaki silindirik bir gözenekli madde örneği tüp içine yerleştirilmiştir. Tüp cidarlarıyla örnek arasında sızdırmazlık sağlanmıştır. Sistemin sıvı ile doldurulduğu öngörülmektedir.

Sıvının örnek içindeki yukarıya doğru akışına , aşağıya yönelmiş viskoz bir direnç karşı koyar. Bu kuvvet prensip olarak (1.1) denklemini gözeneklerin iç yüzeyi boyunca integre etmekle bulunabilir. Gözenek yüzeyinin geometrisini matematik yönden ifade etmek mümkün olmadığından bu işlem yapılamaz. Buna karşın bu kuvvetle ilgili bazı olaylar matematik olarak açıklanabilir.

Laminer akışta , gözenekler içinde hızın kısmi dağılımı hız büyüklüğünden bağımsız olduğundan , v , dolayısıyla dv/dz her yerde q/A ile orantılı olmalıdır. Burada q , volümetrik akış debisidir. Ayrıca akışla ilgili toplam yüzey , AL kaba hacmiyle orantılı olduğundan , sıvıya uygulanan viskoz çekme ,

$$F_{\mu} = B \mu q L \quad 1.2$$

yazılabilir. B , uzunluk karesinin tersi boyutunda olan ve gözenek geometrisi özelliğinde olan bir sabittir. Yukarı doğru akış için F kuvveti aşağıya doğrudur.

Gözenekli örnek içindeki sıvıya uygulanan dış kuvvetler , örneğin uçlarındaki P_a ve P_b basınçları cinsinden ifade edilebilir. Bu basınçların uygulandığı gözenek alanları ϕA ile verildiğinden , bu basınçların doğurduğu yukarı doğru olan kuvvet ,

$$F_p = (p_b - p_a) \phi A \quad 1.3$$

Sıvıdaki bünyesel kuvvet ise örnekteki sıvının ağırlığıdır. Aşağıya doğru olan bu kuvvet ,

$$F_g = \rho (\phi AL) g \quad 1.4$$

olup , ρ sıvının kütle yoğunluğu , g de yerçekimi ivmesidir.

Kararlı akış halinde F_μ , F_p ve F_g kuvvetleri dengede olmalıdırlar. Dolayısıyla,

$$B \mu q L + \rho (\phi AL) g = (p_b - p_a) \phi A \quad 1.5$$

buradan ,

$$q = -\frac{KA}{\mu L} [(p_a - p_b) + \rho g L] \quad 1.6$$

bulunur. Burada ,

$$K = \phi / B \quad 1.7$$

sabiti gözenekli ortamın bir özelliğidir. K sabiti permeabilite olup (1.6) denklemini Darcy kanununun tarifidir. Gerçekte bu ampirik bir kanundur. Buradaki “çıkarılış” fiziksel yapısını anlamak amacıyla verilmiştir. Yatay doğrusal akış halinde gravite etkileri olmayacağından (1.6) denklemindeki $\rho g L$ teriminin kalkacağına dikkat etmek gerekir.

Darcy kanununun çıkarılması , insana sadece kararlı akışa uygulanabilirmiş hissini verebilir. Gerçekte gözenekli ortamdaki laminer akıştaki viskoz kuvvetler , debideki oldukça sık değişimler sonucu çıkan atalet kuvvetlerinden o kadar büyüktür ki bütün durumlarda bu atalet faktörleri ihmal edilebilir. Dolayısıyla pratik amaçlar için Darcy kanunu değişken q debisi için de geçerlidir. (6)

1.2. Gözenekli Ortamda Türbülanslı Akış

Yüksek q akış debilerinde laminar akış şekli bozulur. Yüksek debilerde Darcy knunu geçerli değildir. Laminar akışın olduğu akış debisinin sınırları bir çok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Bu sınır genellikle Reynolds sayısı olarak verilir. Reynolds sayısı,

$$R = \frac{q\rho\delta}{\mu A\phi} \quad 1.8$$

olarak tariflenir. Burada q volümetrik akış debisi , ρ sıvı yoğunluğu , μ viskozite , ϕ porozite A örneğin kesit alanı ve δ de ortalama tane büyüklüğü çapıdır. Genellikle borulardaki akıştaki gibi Reynolds sayısının tarifinde akış kanalının boyutu kullanılır. Ancak gözenekli ortamda kanal çapını ölçülebilir büyüklükler cinsinden ifade etmek güçtür. Gözenek çapının ölçüsü olarak tane çapı kullanılabilir. Diğer bir olanakta gözenek çapı ölçüsü için K 'nın cm^2 olduğu $(K / \phi)^{1/2}$ ifadesini kullanmaktır.

Borulardaki akışa benzeterek gözenekli ortamdaki laminar ve türbülanslı akış , R Reynolds sayısı ile λ "sürtünme faktörü" arasındaki korelasyon düşünülerek incelenebilir. Sürtünme faktörü ,

$$\lambda = \delta \frac{\Delta p \left(\frac{\phi A}{q} \right)^2}{L\rho} \quad 1.9$$

olarak tariflenir. Burada Δp örnek uzunluğu boyunca olan basınç düşümüdür. Birden daha küçük Reynolds sayısı için R ile λ arasında

$$\lambda = c R^{-1} \quad 1.10$$

ilişkisi olup c bir sabittir. Buradan

$$q = \frac{\phi \delta^2 A \Delta p}{c\mu L} \quad 1.11$$

Darcy kanuna eşdeğer bir ifade elde edilir. Gerçekten R ve λ 'nın tariflerinde δ yerine $(K/\phi)^{1/2}$ kullanılırsa c sabiti bire eşit olur.

Gözenekli ortamda gözenek büyüklüğünün dağılımı var olduğundan , borularda olduğu gibi kritik Reynolds sayısında , laminar akıştan türbülanslı akışa geçiş kesin değildir.Bu geçiş yavaş yavaş olur. (6)

1.3. Darcy Kanununun Diferansiyel Biçimi

Daha önceki bölümde Darcy akış kanunu , gözenekli ortamın makroskopik bir örneği içinden akan akışkana etki eden kuvvetlerin dengesi sonucu olarak yorumlanmıştı. Bu düşünce sistemi genişletilerek akışın üç boyuttaki ve diferansiyel biçimdeki kanunu elde edilebilir.

Gözenekli ortamdaki akışkan akışı alanı içinde bir hacim elemanı ele alalım.Bu eleman δs boyunda ve δA kesit alanlı olsun. Kesit alanına dik olan δs vektörü akış alanı içindeki elemanın yönlendirilmesini tanımlar.Eleman bölgesinde ortalama akış debisi v olarak alınsın.Buradan viskoz kuvvet,

$$F_{\mu} = -\mu B. \delta A. v. \delta s \quad 1.12$$

olup hacim elemanı içindeki akışkana δs 'e paralel olarak etki eder. δs 'e paralel olarak etki eden diğer bir kuvvet de eleman ucundaki basınçların sonucu oluşur. Bu kuvvet ,

$$F_p = -\phi \delta A. \nabla p. \delta s \quad 1.13$$

Hacim elemanı içindeki akışkana etki eden bir diğer kuvvet de akışkanın kendi ağırlığıdır.Bu ise

$$F_g = -\rho g \phi. \delta A. \delta s \quad 1.14$$

dir. δs 'e paralel olan kuvvetin bileşkesi olup , yukarıya doğru pozitif alınan birim vektördür.

Karalı akış için bu kuvvetler dengede olacağından,

$$-\left(\nabla p + \mu \frac{B}{\phi} v + \rho g\right) \delta A \phi \delta s = 0 \quad 1.15$$

elde edilir. Bu denklem her hacim elemanı yönlendirilmesi için geçerli olacağından ,

$$\nabla p + \mu \frac{B}{\phi} v + \rho g = 0 \quad 1.16$$

yazılabilir. Veya ,

$$v = -\frac{\phi}{\mu B} (\nabla p + \rho g) \quad 1.17$$

elde edilir. Diğer yönden $K = \phi/B$ şeklinde önceki gibi tariflenirse ,

$$v = -\frac{K}{\mu} (\nabla p + \rho g) = -\frac{K}{\mu} \left[\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial p}{\partial y} + \left(\frac{\partial p}{\partial x} + \rho g \right) \right] \quad 1.18$$

bulunur.

Bu denklemdeki bütün K dahil büyüklükler , $\delta A \delta s$ hacimli sonsuz küçük elemandaki ortalama değerlerdir. Burada soyutlaştırma yapılmıştır. Çünkü sonsuz küçük gözenekli maddeler için K nın fiziksel bir anlamı kalmaz. Ancak deneylerle gözlemlenen akışın bu diferansiyel kanuna uyduğu bulunmuştur.

Sıkıştırılmaz akışkanların akışının diferansiyel kanunu, akış potansiyelini

$$\psi = p + \rho g \quad 1.19$$

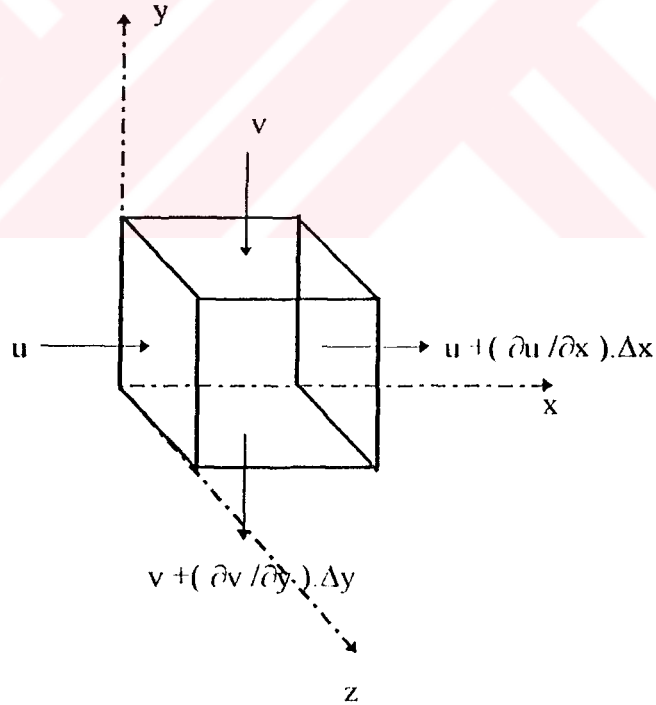
olarak alınırsa daha kısaltılmış olarak

$$\mathbf{v} = -\frac{K}{\mu} \nabla \psi \quad 1.20$$

biçiminde yazılır. (6)

1.4. Gözenekli Ortamdaki Akışkan Akışının Diferansiyel Denklemi

Gözenekli ortamdaki akış kanununun matematiksel anlatımı formüle edilip süreklilik denklemini çıkardıktan sonra , gözenekli ortamdaki akışı veren diferansiyel denklem yazılabilir.



Şekil 1.2. Kütlein Korunumunun Gösterimi

Gözenekli ortamdaki üç boyutlu akımın temel denklemlerini elde etmek için şekildeki gibi bir akım dikkate alalım. Ortam doygun ve boşlukludur. Ayrıca sıkıştırılamadığı kabulü yapılmaktadır.

Böyle bir akımda Δx , Δy , Δz boyutlu bir eleman düşünelim. Birim zamanda x , y ve z doğrultusunda elemana giren akışkanın hızları (akış yoğunluğu) , u ve v , w ile gösterilmiştir. Çıkış hızları sırasıyla

$$u + \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right) \Delta x \quad 1.21$$

$$v + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right) \Delta y \quad 1.22$$

$$w + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right) \Delta z \quad 1.23$$

olur. Kütlenin korunumu yasası gereği , elemana giren akımın miktarı , elemandan çıkan akımın miktarına eşit olmak zorundadır. Bu durumda ,

$$u(\Delta y \cdot \Delta z) + v(\Delta x \cdot \Delta z) + w(\Delta y \cdot \Delta x) = \left(u + \frac{\partial u}{\partial x} \Delta x \right) (\Delta y \cdot \Delta z) + \left(v + \frac{\partial v}{\partial y} \Delta y \right) (\Delta x \cdot \Delta z) + \left(w + \frac{\partial w}{\partial z} \Delta z \right) (\Delta y \cdot \Delta x) \quad 1.24$$

elde edilir. Gerekli sadeleştirmeler yapılırsa ,

$$\nabla \cdot \bar{v} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad 1.25$$

süreklilik denklemi elde edilir.

Bu denklemdeki akış yoğunluğunun u , v , w bileşenleri , Darcy kanunuyla potansiyel gradyenin bileşenleri cinsinden ifade edilmelidir. Böylece gözenekli ortamın karakterine bağlı olarak bir çok farklı denklemler meydana çıkar.

İzotrop gözenekli ortam için

$$\mathbf{v} = -\frac{K}{\mu} \nabla \psi \quad 1.26$$

denklemini uygulanabilir ve sonuç diferansiyel denklemini ,

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{K}{\mu} \frac{\partial \psi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{K}{\mu} \frac{\partial \psi}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{K}{\mu} \frac{\partial \psi}{\partial z} \right) = 0 \quad 1.27$$

olur. Burada μ viskozitesi genellikle sabit olarak düşünülürse de K permeabilitesi x , y , z ' nin fonksiyonu olabilir.

Ortam homejen ise K permeabilitesi sabit olur. Eğer μ de sabitse akışın diferansiyel denklemini ,

$$\left(\frac{K}{\mu} \right) \nabla^2 \psi = \left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} \right) \left(\frac{K}{\mu} \right) = 0 \quad 1.28$$

Bu denklem izotrop , homejen , sıkıştırılamayan gözenekli ortamda akan sıkıştırılamaz akışkanın akış denklemdir. (6 , 10)

1.5. Sınır Şartları

Gözenekli ortamdaki akışkanların akışını içeren denklemler bütün durumlarda ikinci mertebeden kısmi diferansiyel denklemlerdir. Bu gibi akış problemlerinde

özüme gidebilmek için , bağımlı değişken ve türevleri için sınır koşullarını belirtmek gerekir. Bu fonksiyon , basınç veya akış potansiyeli olur. Bazen başka fonksiyonlarda kullanılabilir.

Sonlu farklarla ifade edilen akım fonksiyonu denkleminin çözülebilmesi için , problemin fiziğini uygulanan matematik modele yansıtan sınır şartlarının tanımlanması gerekmektedir. Bu nokta ile ilgili daha detaylı bilgi , sonlu farklarda , sınır şartlarının uygulanması kısmında verilecektir.



2. SONLU FARKLAR YÖNTEMİ

Hidrolik problemlerin büyük bir çoğunluğu diferansiyel denklemlerle temsil edilir. Problemlerin çözümü için diferansiyel denklemlerin hesaplanması gerekir. Ancak bir çok diferansiyel denklemin analitik çözümü ya çok zordur , ya da imkansızdır. Bu nedenle diferansiyel denklemlerin hesaplanmasında yaklaşım yöntemleri geliştirilmiştir. (Sonlu Farklar, Sonlu Hacimler v.b.). Bunlardan biri de Sonlu Farklar yöntemidir. Yöntemi iyi uygulayabilmek için diferansiyel denklemleri tanımak gerekir.

İkinci dereceden , lineer, homojen , kısmi diferansiyel denklem aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$a \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + b \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} + c \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = \quad 2.1$$

Kısmi diferansiyel denklemler teorisinden , yukarıdaki denklemin diskriminant değerine göre üç değişik form elde edilir. Bunlardan birincisi , diskriminantın sıfırdan büyük olduğu durumdur. Burada $b^2 - 4.a.c > 0$ olup denklem hiperbolik denklem ismini alır. Hiperbolik denklem formu ,

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} - c^2 \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = 0 \quad 2.2$$

Bu denklem “dalga denklemi”ne benzerdir. Eğer $b^2 - 4.a.c = 0$ ise parabolik denklem olur. Denklem ,

$$\frac{\partial f}{\partial x} = c \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad 2.3$$

şekinde olabilir. Bu denklem ısı denklemi olarak bilinir. Eğer $b^2 - 4.a.c < 0$ ise eliptik denklem olur ve formu ,

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = 0 \quad 2.4$$

şekindedir. Bu form Laplace denkleminin aynısıdır. (4 ,5)

2.1 Sonlu Farklar Temel Denklemlerinin Çıkarılması

Sonlu Farklar yönteminin esası , oluşturulan çözüm alanının karakteristik bölgelerinde (noktalarında) değerleri , bir yaklaşımla belirlemektir. Çözüm alanını grid noktalara bölmekle bu yapılır. Grid noktalar bir boyutlu olabileceği gibi iki veya üç boyutlu da olabilir. Grid noktalar arasındaki çeşitli ilişkilere göre oluşturulan Sonlu Farklar denklemiyle , diferansiyel denklem yaklaşık olarak çözülür. Sonlu Farklar denklemi cebrik bir denklemdir. Diferansiyel denklem , Sonlu Farklarla cebrik denkleme dönüşmüş olur.

Sonlu Farklarla , eliptik , parabolik veya hiperbolik kısmi diferansiyel denklemlerin çözüm alanında bütün noktalar incelenir. Problem başlangıç şartı , sınır şartı veya karışık şartlar içerebilir. Sınır şartlarının çözüme katılımı ayrıca incelenecektir.

Bir çok Sonlu Farklar yaklaşım yöntemi ve cebrik denklemi vardır. Ancak temel Sonlu Farklar denklemleri Taylor serisinin açılımından elde edilir.

Sürekli , türevi olan bir $f(x)$ fonksiyonun ($x-a$) daki Taylor serisi açılımı ,

$$f(x) = f(a) + (x-a).f^{(1)}(a) + \frac{(x-a)^2}{2!}f^{(2)}(a) + \dots + \frac{(x-a)^n}{n!}f^{(n)}(a) \quad 2.5$$

Sonsuza kadar giden Taylor serisi n. terimde kesilmiştir. (x-a) için yazılan bu Taylor serisini $x = x_0 + \Delta x$ için düzenlersek , $\Delta x = (x - x_0)$ olmak üzere

$$f(x) = f(x_0) + (\Delta x). f^{(1)}(x_0) + \frac{(\Delta x)^2}{2!} f^{(2)}(x_0) + \dots \quad 2.6$$

şeklinde devam eder , Bu serinin ilk üç terimini kullanarak yaklaşık türevi ,

$$\frac{df}{dx}(x_0) = \frac{f(x) - f(x_0)}{\Delta x} + \frac{\Delta x}{2!} f^{(2)}(x_0) \quad 2.7$$

olarak yazabiliriz. Burada

$$O(\Delta x) = \frac{\Delta x}{2!} f^{(2)}(x_0) \quad 2.8$$

ile gösterilir. $O(\Delta x)$ kesme hatasıdır. Bu , sonlu ileri farklardan elde edilen yaklaşık türev ifadesi Δx dereceden hata terimi içerir. Kesme hatasının derecesi yöntemin hassasiyeti hakkında önemli bir kriterdir.

Türev ifadesini sonlu geri farklardan elde etmek istersek , Taylor serisini $x = x_0 - \Delta x$ durumunda açarız.

$$f(x) = f(x_0) - (\Delta x). f^{(1)}(x_0) + \frac{(\Delta x)^2}{2!} f^{(2)}(x_0) + \dots \quad 2.9$$

Buradan geri farklarla birinci dereceden türev ifadesi, yine serinin ilk üç terimini dikkate alarak

$$\frac{df}{dx}(x_0) = \frac{f(x_0) - f(x)}{\Delta x} + \frac{\Delta x}{2!} f^{(2)}(x_0) \quad 2.10$$

şeklinde elde edilir. Sonlu geri farklardan elde edilen bu yaklaşık türev ifadesinin son toplamı $O(\Delta x)$ ile gösterilir. Bu , Δx dereceden kesme hatasını gösterir.

Merkezi farka göre birinci dereceden türev yazmak istenilirse , ileri fark türev teriminden geri fark çıkarılarak , ikiye bölünülür. Bu işlem sonucunda merkezi farka göre türev terimi elde edilir ,

$$\frac{df}{dx}(x_0) = \frac{f(x_0 + \Delta x) - f(x_0 - \Delta x)}{2\Delta x} + O(\Delta x^2) \quad 2.11$$

İleri ve geri farklardaki $\frac{\Delta x}{2!} f''(x_0)$ terimi yok olduğu için hata Δx^2 derecesinde olur.

Aynı yaklaşım ile ikinci dereceden yaklaşık türev ifadesi sonlu farklarla elde edilebilir.

$$\frac{d^2 f}{dx^2}(x_0) = \frac{f(x_0 + \Delta x) - 2f(x_0) + f(x_0 - \Delta x)}{\Delta x^2} + O(\Delta x^2) \quad 2.12$$

Hata Δx^2 derecesindedir. Benzer şekilde üçüncü dereceden türev

$$\frac{d^3 f}{dx^3}(x_0) = \frac{-f(x_0 - 2\Delta x) + 2f(x_0 - \Delta x) - 2f(x_0 + \Delta x) + f(x_0 + 2\Delta x)}{2\Delta x^3} + O(\Delta x^6)$$

elde edilir. Burada hata Δx^6 derecesindedir. (4 , 5)

2.2 Sonlu Farklarda Uyumluluk Yakınsama ve Kararlılık

Sonlu farklarla hesaplamalı akışkanlar dinamiği problemlerinde karşımıza çıkabilecek bir çok sorular ve sorunlar vardır. Bunlardan bazılarını şu şekilde sıralayabiliriz: Acaba yaptığımız yaklaşım ne kadar doğrudur , çözdüğümüz sonlu farklar denklemleri ne derecede gerçek denklemleri karşılamaktadır , her zaman sonuç bulabilirmiyiz vb. Çözüm yöntemlerinin bu sorulara cevap vermesi gerekmektedir.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği çözüm algoritmaları akışkan hareketini tanımlayan denklemlere yakın temsil getirecek yapıdadır. Seçilen yöntemin başarısı bir çok faktöre bağlıdır. Bunlar arasında en önemlileri uyum , kararlılık ve yakınsamadır.

Uyumluluk : Ayrıklaştırma sonucu elde edilen sonlu farklar cebirsel denklemlerin Δx sıfıra giderken limiti her ağ noktasında kısmi diferansiyel denklemler sistemine eş değer ise uyumluluk vardır. Ancak uyum şartı , çözümün gerçek tam çözüme yakınsayacağını göstermemektedir.

Yakınsama : Problemin fiziğine uygun olarak tanımlanmış kısmi diferansiyel denklemlerin indirgenmesi sonucu ortaya çıkan Sonlu Farklar cebirsel denklemler sisteminin çözümü , ağ noktaları arasındaki mesafe sıfıra giderken orjinal denklemlerin tam çözümüne yaklaşıyorsa , cebirsel denklem sistemi yakınsama özelliğine sahiptir denilir. Kısaca gerçek tam çözüme olan yakınsama , Δx , $\Delta t \rightarrow 0$ sıfıra giderken gerçekleşir.

Kararlılık : Cebirsel denklemler sisteminin çözümü sırasında oluşacak rahatsızlıkların büyümesi veya azalıp sıfırlanması süreçleri kararlılık kavramı altında açıklanabilir. Ayrıklaştırma sonucu elde edilen cebirsel denklemlerle yapılan hesaplamalar sırasında oluşabilecek kesim hatalarının yeteri kadar büyümeyip sınırlı kalması , yöntemin kararlı olduğunu gösterir.

Ayrıklaştırılan sistemlerin kararlılığını bulmak için iki ana yöntem vardır. Bunlar matris yöntemi ve von Neumann Yöntemi'dir. Her iki yöntemde sayısal algoritmanın vereceği çözüm ile gerçekten hesaplanan değer arasındaki hatanın , büyüüp büyümediği öngörmesi üzerine kurulmuştur. Aşağıda von Neumann Yöntemi kısaca tanıtılacaktır.

Yöntemin temeli bir zaman adımında ağ noktalarındaki hata dağılımının sonlu Fourier serileri açılımı üzerine kurulmuştur. Hesaplamalı algoritmanın kararlılığı hata dağılımını temsil eden Fourier serisinin , Fourier bileşenlerinin , bir adım sonrasında ayrı ayrı küçülmesi veya büyümesi ile tespit edilecektir. Ağ noktası , x_j de tanımlanan başlangıç hata vektörü , sonlu kompleks Fourier serisi ile aşağıdaki gibi tanımlanır ,

$$\epsilon_j^0 = \sum_{m=1}^{J-2} a_m e^{i\Theta_m j} \quad j = 2, 3, \dots, J-1 \quad 2.14$$

$$i = (-1)^{1/2} , \quad \Theta = m\pi\Delta x \quad 2.15$$

Hesaplamalı algoritma lineer olduğu müddetçe yukarıdaki seri açılımında , tek bir terimi , $\exp (i \Theta_m j)$, Fourier serisinin kararlılık analizi için kullanmak yeterli olacaktır.

Bu nedenle "m" indisini kaldırarak hata denklemi ,

$$\epsilon_j^n = (G)^n e^{i\Theta_m j} \quad 2.16$$

olacaktır. G katsayısı m.ci Fourier teriminin bir adım sonrası büyüme faktörü olarak tanımlanır. Yani ,

$$G = \frac{\epsilon_j^{n+1}}{\epsilon_j^n} \quad 2.17$$

Hataların küçülmesi demek G 'nin mutlak değerinin daima birden küçük olması ile olacaktır. O halde genel kararlılık kriteri ,

$$|G| < 1 \quad 2.18$$

olacaktır. (2 , 7)

2.3. Ağ Yapısının Grid Noktalara Ayırılması

Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğinde çözüme gidebilmekte önemli problemlerden birisi , ağ üretmektir. Üretilen ağ yapısına sonlu farklar ayırılması uygulanır. Ayırılma , $a \leq x \leq b$ aralığında bir $f(x)$ fonksiyonun , noktalarla tanımlanmasına denir.

Ayırılma sonucunda aşağıdaki set elde edilir:

$$\begin{aligned} x_0 &= a , f(x_0) \\ x_1 &, f(x_1) \\ x_2 &, f(x_2) \\ &\dots\dots\dots \\ x_{n+1} &= b , f(x_{n+1}) \end{aligned} \quad 2.19$$

Böylece fonksiyon $f(x)$, $a \leq x \leq b$ aralığında ayırık noktalarla tanımlanmıştır. $f(x_i)$ değeri genelde f_i olarak gösterilir

Diferansiyel denklemin analitik tam çözümü $f(x)$ ile gösterilsin. Bu çözüm (a,b) aralığındaki ayırık noktalarda $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_N)$, başka bir yöntem kullanılarak yaklaşık olarak temsil edilsin. Yeni çözüm , f_i , olarak tanımlanırsa , gerçek çözüme yaklaşık temsil fonksiyonu bulunmuş olacaktır.

Ayrık noktaların birbirinden sonlu uzaklıkları , $\Delta x = x_{i+1} - x_i$, ağ büyüklüğü olarak tanımlanmaktadır. Sabit ağ büyüklüğü için bu sonlu uzaklık :

$$\Delta x = (b - a) / (N+1) \quad 2.20$$

olarak tanımlanır. Bu tanımları kullanarak ayrık noktaların konumlarını aşağıdaki gibi ifade etmek mümkündür.

$$\begin{aligned} x_0 &= a + \Delta x \\ x_1 &= a + \Delta x \\ x_2 &= a + 2\Delta x \\ &\dots\dots\dots \\ x_i &= a + i\Delta x \end{aligned}$$

$$i = 0, 1, 2, 3, \dots\dots\dots, N+1 \quad 2.21$$

Tam çözüm fonksiyonu $f(x)$ in ayrık noktalardaki değerleri kullanılarak yüksek dereceden türevlerini , yaklaşık olarak , istenen hassasiyette tanımlamak için daha önce elde edilen Taylor serisi açılımları kullanılır.

Bu açılımlar merkezi fark için :

$$\frac{df(x_i)}{dx} \cong \frac{f_{i+1} - f_{i-1}}{2\Delta x} \equiv \delta_x \quad , \quad \varepsilon = O(\Delta x^2) \quad 2.22$$

iler fark için :

$$\frac{df(x_i)}{dx} \cong \frac{f_{i+1} - f_i}{\Delta x} \equiv \Delta_x \quad , \quad \varepsilon = O(\Delta x) \quad 2.23$$

geri fark için :

$$\frac{df(x_i)}{dx} \cong \frac{f_i - f_{i-1}}{\Delta x} \equiv \nabla_x, \quad \varepsilon = O(\Delta x) \quad 2.24$$

olarak yazılır.

Yukarıda iki ayrı nokta kullanılarak yaklaşık olarak temsil edilen birinci dereceden türev değerleri verilmiştir. ε , hata mertebesini göstermektedir. (2, 7)

2.4. Diferansiyel Denklemlerin Sonlu Farklarla Çözümü

Bu bölümde diferansiyel denklemlerin sonlu farklar uygulamasından örnekler verilecektir. Daha önceki bölümlerde diferansiyel denklemler eliptik, parabolik ve hiperbolik olmak üzere üç kısma ayrılmıştı. Sonlu farkların her üç denkleme uygulanması ile ilgili örnekler, hem implicit, hem de explicit olarak verilecektir. Explicit yöntemde n . adımda tanımlanan değerler kullanılarak $(n+1)$. adımdaki değerler hesaplanır. Bu yöntemin uygulanması kolaydır. Ancak kararlılık problemi vardır. Yöntemin kararlılığı belirli sınırlar içinde kalmaktadır. Bu sınırlar yönteme ve probleme göre değişir.

İmplicit yaklaşımda diferansiyel denklemdaki ikinci türev terimleri, $(n+1)$. adımda hesaplanır. Böylece $(n+1)$. adımdaki bağımlı değişken değerleri birbirine bağlı cebirsel denklem sistemine dönüşür. Genellikle bu denklem sistemi bant matris şeklinde oluşur. Bunun da çözümü Thomas algoritması kullanılarak kolaylıkla yapılabilir.

Parabolik denklem çözümüne örnek olarak Difüzyon denklemini verebiliriz :

$$\frac{\partial T}{\partial t} - \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0 \quad 2.25$$

En genel halde yazılan bu difüzyon denkleminin explicit sonlu farklar açılımı , zamanda ileri farklar , konumda ise merkezsels farklar kullanılarak yapılabilir ,

$$\frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\Delta t} - \alpha \frac{T_{i-1}^n - 2T_i^n + T_{i+1}^n}{(\Delta x)^2} = 0 \quad 2.26$$

Bu denklemde gerekli cebirsel işlemler yapılarak aşağıdaki bilgisayara uygulanmaya hazır formül elde edilir.

$$T_i^{n+1} = f_o T_{i-1}^n + (1 - 2f_o) T_i^n + f_o T_{i+1}^n \quad 2.27$$

$$f_o = \alpha \Delta t / (\Delta x)^2 \quad 2.28$$

Difüzyon denklemini zamanda ileri fark , konumda merkezsels farkla (n+1). adımda yazılırsa tam implicit sonlu farklar açılımı elde edilir ,

$$\frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\Delta t} - \alpha \frac{T_{i-1}^{n+1} - 2T_i^{n+1} + T_{i+1}^{n+1}}{(\Delta x)^2} = 0 \quad 2.29$$

Bilgisayara uyarlanabilecek algoritma haline basit cebirsel işlemler sonucu dönüştürülürse ,

$$T_i^n = -f_o T_{i-1}^{n+1} + (1 + 2f_o) T_i^{n+1} - f_o T_{i+1}^{n+1} \quad 2.30$$

yazılabilir.

Hiperbolik denklemlere örnek olarak bir boyutlu taşıma denklemini verebiliriz ,

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} = 0 \quad 2.31$$

Explicit sonlu farklar açılımı yapılırsa , zamanda ileri farklar , konumda merkezel farklar ayrıklaştırması yapılır ve aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\Delta t} + u \frac{T_{i+1}^n - T_{i-1}^n}{2\Delta x} = 0 \quad 2.32$$

Algoritmaya dönüştürülecek halde ifadesi ise

$$T_i^{n+1} = T_i^n - 0.5C_{ou} (-T_{i-1}^n + T_{i+1}^n) \quad 2.33$$

$$C_{ou} = u\Delta t / \Delta x \quad 2.34$$

olur.

Taşıma denkleminin tam implisit açılımı yapılırsa zamanda ileri fark , konumda ise (n+1). adımda merkezel fark ayrıklaştırması yapılır.

$$\frac{T_i^{n+1} - T_i^n}{\Delta t} + u \frac{T_{i+1}^{n+1} - T_{i-1}^{n+1}}{2\Delta x} = 0 \quad 2.35$$

elde edilir.

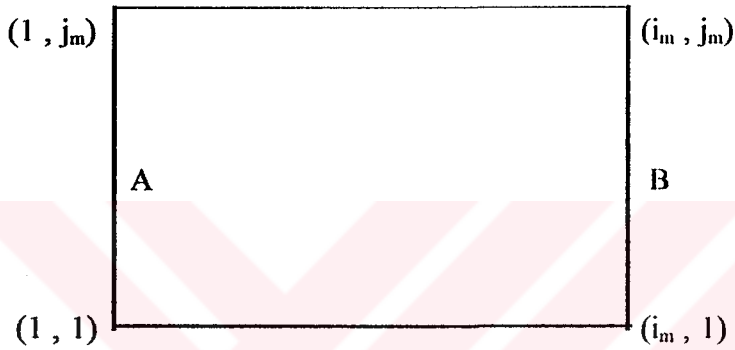
Eliptik denkleme en iyi örnek Laplace denklemdir.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \quad 2.36$$

Kararlı akış süreklilik denklemi olan bu ifadenin sonlu farklar ayrıklaştırması ilerde ayrıntılı olarak ele alınacaktır. (2 , 7)

2.5. Sınır Şartlarının Uyarlanması (2)

Sonlu Farklarla ifade edilen akım fonksiyonu denkleminin çözülebilmesi için problemin fiziğini , uygulanan matematik modele yansıtan sınır şartlarının tanımlanması gerekmektedir. Bu çalışmada yalnızca dikdörtgen domainler ile çalışılmıştır. Bu şekilde denklemlerin ve domainin transformasyonundan kaçınılmış , elde edilen denklemler doğrudan uygulanmıştır.



Şekil 2.1. Hareketsiz katı duvar

Hareketsiz katı duvar olması durumunda (1 , j) noktaları için akım denklemini ele alalım

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = 0 \quad 2.37$$

A yüzeyi boyunca akım fonksiyonu sabittir ,

$$\left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} \right)_{1,j} = 0 \quad 2.38$$

Bunu Laplace denkleminde yerine koyarsak

$$\left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2}\right)_{1,j} = 0 \quad 2.39$$

ifadesine indirgenir. Yukarıdaki ikinci türev için Taylor serisi açılımı yapılırsa ,

$$\psi_{2,j} = \psi_{1,j} + \left(\frac{\partial \psi}{\partial x}\right)_{1,j} \Delta x + \left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2}\right)_{1,j} \frac{(\Delta x)^2}{2!} + \dots \quad 2.40$$

A yüzeyi boyunca v hızı sıfır olacağından

$$v_{1,j} = -\left(\frac{\partial \psi}{\partial x}\right)_{1,j} = 0 \quad 2.41$$

olur. Böylece ,

$$\psi_{2,j} = \psi_{1,j} + \left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2}\right)_{1,j} \frac{(\Delta x)^2}{2!} + O(\Delta x)^3 \quad 2.42$$

Bu durumda

$$\left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2}\right)_{1,j} = \frac{2(\psi_{2,j} - \psi_{1,j})}{(\Delta x)^2} = 0 \quad 2.43$$

Buradan

$$\psi_{2,j} = \psi_{1,j} \quad 2.44$$

ifadesini elde ederiz. Aynı şekilde diğer B , C ve D yüzeyleri içinde sınır şartları elde edilebilir. B yüzeyi için ,

$$\Psi_{i_m, j} = \Psi_{i_m-1, j} \quad 2.45$$

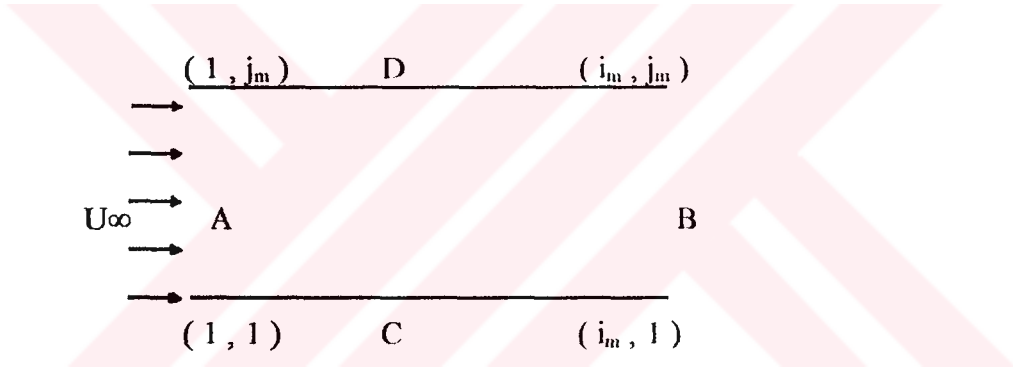
C yüzeyi için ,

$$\Psi_{i, j} = \Psi_{i, 2} \quad 2.46$$

D yüzeyi için ,

$$\Psi_{i, j_m} = \Psi_{i, j_m-1} \quad 2.47$$

Üniform hızla akışkanın girmesi durumunda şekilde görüldüğü gibi açık A yüzeyinden üniform hızla akış girer.



Şekil 2.2. Üniform hızla akışkanın girişi

Burada cisim kapalı değildir. Bu durumda üst yüzey boyunca T değeri ;

$$u = \frac{\partial \Psi}{\partial y} \quad 2.48$$

denkleminin yardımıyla hesaplanabilir. Denklem ileri farklarla ayrıştırılırsa ,

$$U_{\infty} = \frac{\Psi_{i, j+1} - \Psi_{i, j}}{\Delta y} \quad 2.49$$

elde edilir.

Şekil 2.2.deki B yüzeyi dikkate alınsın.Akışkanın yalnızca bu yüzeye dik yönde hız bileşenin olduğu varsayılınsın.Akım fonksiyonunun değeri , $v = 0$ olarak kabul edildiğinden

$$v = -\frac{\partial \psi}{\Delta x} = 0 \quad 2.50$$

olur. Bu ifade geri farklarla açılırsa ,

$$\frac{\Psi_{im,j} - \Psi_{im-1,j}}{\Delta x} = 0 \quad 2.51$$

elde edilir .B yüzeyi boyunca yatay u hızı geri farklar ile açılırsa ,

$$\frac{\Psi_{im,j} - \Psi_{im,j-1}}{\Delta y} = u_{im,j} \quad 2.52$$

Şekil 2.2. de daimi çizgi ile gösterilen yatay C ve D yüzeylerinin , katı sınır değilde , akışkan alanını sınırlayan akım hatları olduğu varsayılınsın. Bu durumda bu akım hatları boyunca akım fonksiyonunun değerleri sabit olacaktır.

C ve D akım yüzeyleri boyunca yatay u hızı

$$\frac{\Psi_{i,jm} - \Psi_{i,jm-1}}{\Delta y} = u_{i,jm} \quad 2.53$$

$$\frac{\Psi_{i,2} - \Psi_{i,1}}{\Delta y} = u_{i,1} \quad 2.54$$

3. DALGAKIRANIN ALTINDA OLUŞAN SIZMANIN İNCELENMESİ

3.1. Problemin Tanıtımı

Dalgakıranlar önemli bir kıyı yapısıdır. Dalgakıranlar dört ana amaç için inşa edilirler. En önemli amaç kıyıyı dalga etkilerine karşı , koruma altına almaktır. Dalgakıranların ikinci yapılış amacı , liman ve kanal girişlerinde katı madde yığılmasını önleyerek tarama ihtiyacını minimuma indirmesidir. Dalgakıranlar rıhtım oluşturmak amacıyla da inşa edilirler. Dalgakıranların son yapılış amacı , kıyıdaki akıntıları önlemektir.

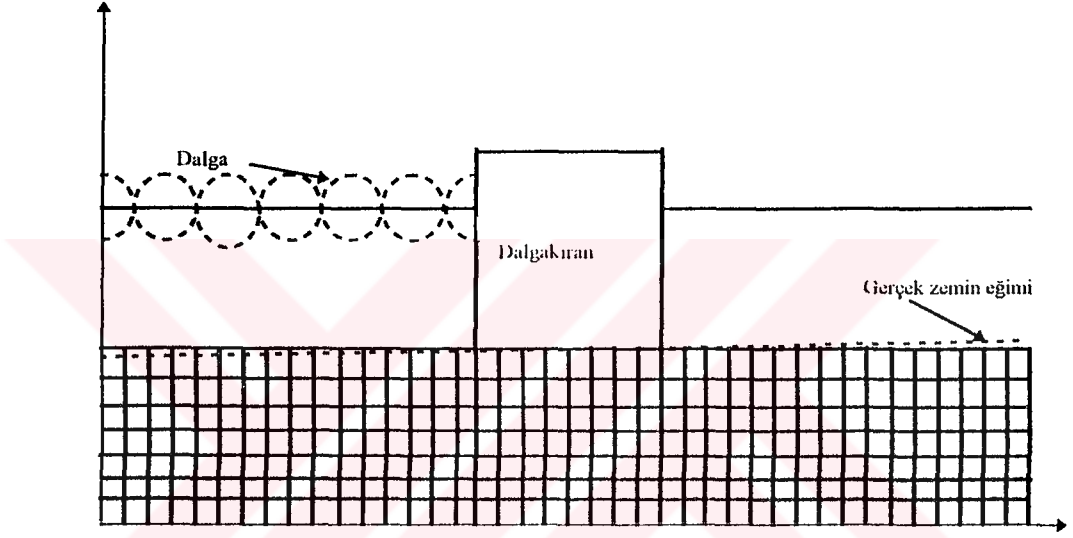
Kıyı mühendisliğinde değişik amaçlar için kullanılabilen çeşitli türlerde dalgakıranlar bulunmaktadır. Yapısal ve biçimsel olarak çok farklı dalgakıranlar vardır. Bu çalışmada düşey dalgakıran dikkate alınmış , yapısal değişiklikler üzerinde durulmamıştır.

Esas işlenen nokta dalgakıran altındaki sızma akışıdır. Bu akışı oluşturan sebepler , dalgakıranın biçimsel türüne , inşa edildiği derinliğe , büyüklüğüne (genişliğine) ; dalganın uzunluğuna , periyoduna , yüksekliğine ve zeminin özelliğine bağlıdır. (1)

8 metre genişliğinde düşey yüzlü bir dalga kıranın , 6 metre derinliğe inşa edilmesi örneği üzerinde çalışılmıştır. Burada dalganın periyodu 6 saniye , boyu 42.55 metre , yüksekliği 3 metredir Dalga , dalgakıranı geçtikten sonraki bir noktada kırılmaktadır. Zemin 1/50 eğimle değişmektedir ve 8 metre kalınlığında geçirimli bir zemin tabakası vardır. Bu veriler ışığında dalgakıran altındaki sızma akışı sonlu farklarla incelenmiştir. Burada asıl konu olmadığı için dalgakıranın boyutlandırılması yapılmamış , sadece genişliği belirli bir değer olarak alınmıştır. Dalganın verileri dalgakıranın inşa edildiği noktadan sonra kırılan bir dalga olması için özellikle seçilmiş

verilerdir. Bu veriler , dalgadan kaynaklanan dinamik basınç hesaplanırken kullanılmıştır.

Sızma akışı için çözüm alınırken grid sistemi oluşturulurken dalgakırının ön ve arka kısımlarından 16 metre ilerisi dikkate alınmıştır.8 metre kalınlığında geçirimsiz zemin tabakası da sisteme katılınca , toplam $40 * 8 \text{ m}^2$ alanda ağ yapısı oluşturulmuştur. Grid noktaları arasındaki fark x ve y yönünde eşit olarak 1 metre alınmıştır.Böylece oluşan grid sistemi aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.1. Grid sistemi

3.2. Problemden Yapılan Kabuller

Dalga hareketi sürekli devam eden bir harekettir. Bu nedenle inşa edilen bir dalga kırının ön kısmında sürekli bir dalga hareketi oluşacaktır. Bu sürekli hareketten dolayı zemin üzerinde devamlı değişen basınçlar oluşur. Basınçlar dalgakırının altındaki sızma akışını oluşturan nedenlerdir. Değişen basınçlar altında sızma akışı , kararsız akıştır.

Oluşan kararsız akış , bu çalışmada birim zaman dilimlerine ayrıldı. Her zaman diliminde basınçlardan dolayı oluşan sızma akışı , o zaman dilimi içinde basınç sabit

olduğu için kararlı akış olur. Tabii burada ortamın ve akışkanın sıkıştırılmaz olduğu göz önüne alınmıştır. Sonuçta her zaman dilimi için kararlı akış formülleri kullanılır.

Daha önce sıkıştırılmaz akışkan ve sıkıştırılmaz gözenekli ortam için üç boyutlu akım denklemi çıkarılmıştı. Akış denklemini çıkarırken izotrop , homojen bir ortam dikkate alınmıştı. Burada denklem , sayfa düzlemine dik doğrultuda birim uzunluk alınarak iki boyutlu hale indirildi. Böylece gözenekli ortamdaki akışın potansiyel fonksiyon denklemi

$$\left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} \right) K = 0 \quad 3.1$$

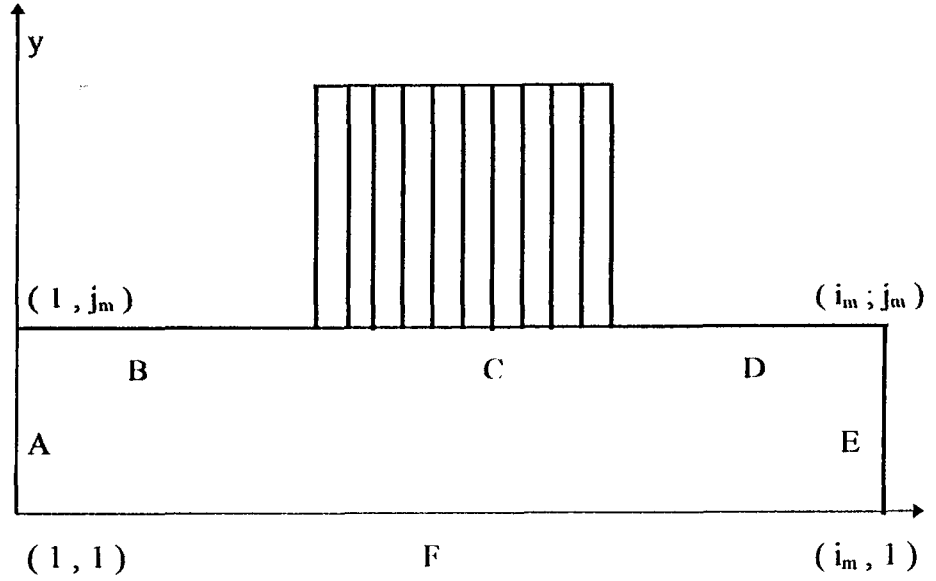
halini aldı.

Sonlu farklar cebrik denklem uygulamasında oluşturulan ağ yapısı dikdörtgen olarak alındı. Burada zeminin 1/50 derecesindeki eğimi ihmal edilerek yatay olduğu kabulü yapıldı.

Bu kabul sonuçlara çok büyük bir etki yapmayacaktır. Çünkü grid sistem ayrıklaştırması yapılırken her bir metrede bir ağ noktası geçirilmiştir. Sonuçta her grid noktasında 1 metreye karşılık 2 cm.gibi bir fark ortaya çıkmaktadır. Bu değer çok küçük olduğu için ihmal edilmiştir. Dikdörtgen ağ yapısının alınması hesaplamada denklemlerin ve ağ yapısının transformasyon yapılmamasını sağlamıştır. Böylece hesaplar basitleştirilmiş ve zamandan kazanılmıştır.

3.3. Sınır Şartlarının Tanımlanması

Aşağıda her farklı yüzeye başka bir isim verilerek oluşturulan çözüm alanı gösterilmektedir. Her farklı isimlendirilmiş yüzeyde , değişik sınır şartları oluşmaktadır.



Şekil 3.2. Farklı Sınır Şartlarını Gösteren Şekil

A yüzeyi akışkanın girdiği bir yüzeydir. Bu yüzey boyunca $\phi_{1,j}$ değeri sabittir. Bu değer B yüzeyinde bulunan ϕ_{1,j_m} değerine eşittir. Bu problemde ϕ_{1,j_m} değeri her "t" zamanı için değişmektedir. Bu değer ,

$$P = -\gamma \cdot z \mp \frac{\gamma \cdot H \cdot \cosh k \cdot (d + z)}{\cosh kd} \cos kx \cdot \cos \omega t \quad 3.2$$

denkleminin tabanda oluşturduğu etkiye göre düzenlenmiş olan aşağıdaki denklemle bulunur ,

$$P = \gamma D \mp \frac{\gamma \cdot H}{\cosh kD} \cos kx \cdot \cos \omega t \quad 3.3$$

İlk terim hidrostatik , ikincisi ise dinamik basınçları göstermektedir. Bu formüllerde ,

P = Basınç

H = Proje dalga yüksekliği

D = Su derinliği

k = Dalga sayısıdır ($2\pi/L$)

B yüzeyindeki ϕ_{jm} değerleri dalganın durumuna göre değişir. Dalganın durumu şekil 3.3 de gösterilmektedir. Bu durumda oluşacak ϕ_{jm} değerleri , yukardaki formülde x uzaklıklarının yerine konulması ile bulunur. Bu değerler her “t” zamanı için dalganın durumunun değişmesi nedeniyle farklı değerler alırlar. (1)

C ve F yüzeyleri hareketsiz katı yüzeylerdir. Bu yüzeylerde

$$\left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} \right)_{i,jm} = 0 \quad 3.4$$

ve

$$\left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} \right)_{i,l} = 0 \quad 3.5$$

Bu yüzeyler boyunca $v_{i,j}$ hızı sıfır olduğundan

$$v_{i,j} = K \cdot \left(\frac{\partial \phi}{\partial y} \right)_{i,j} = 0 \quad 3.6$$

olur. Buradan ileri farklar ayrıştırması yapılır ve denklem sadeleştirilirse ,

$$\phi_{i,1} = \phi_{i,2} \quad 3.7$$

olduğu bulunur.

D yüzeyi boyunca u değeri hidrostatik basınç değerine eşittir. Bu değerde , akışkan yüksekliğine eşittir(6 metre).

E yüzeyi akışkan giriş çıkış bölgesidir. Bu yüzey boyunca $\phi_{im,j}$ değerleri , $\phi_{im,jm}$ değerine eşittir. Bu değerler D yüzeyinde belirtildiği gibi o nokta üzerindeki hidrostatik basınca eşittir. Dolayısıyla E yüzeyi boyunca $\phi_{im,j}$ değerleri ϕ 'dır.

3.4. Matematik Modelleme

Daha önce belirtildiği gibi sıkıştırılamaz gözenekli ortamdaki , sıkıştırılamaz akışkanın , iki boyutlu akış için potansiyel fonksiyon denklemidir ,

$$\left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} \right) K = 0 \quad 3.8$$

Burada K çarpanından bağımsız olarak ; parantez içindeki denklemi , zamana bağlı bir terim olmadığı için x ve y yönünde ayrıklaştırma yapmak yeterli olacaktır. Parantez içindeki denklemin her iki terimine ikinci dereceden merkezsiz farklar kullanılarak yapılan ayrıklaştırma sonucu , aşağıdaki model denklem elde edilir

$$\frac{\phi_{i+1,j} - 2\phi_{i,j} + \phi_{i-1,j}}{(\Delta x)^2} + \frac{\phi_{i,j+1} - 2\phi_{i,j} + \phi_{i,j-1}}{(\Delta y)^2} = 0 \quad 3.9$$

Bu denklemi sadeleştirerek ,

$$\left(\phi_{i+1,j} - 2\phi_{i,j} + \phi_{i-1,j} \right) + \left(\frac{\Delta x}{\Delta y} \right)^2 \left(\phi_{i,j+1} - 2\phi_{i,j} + \phi_{i,j-1} \right) = 0 \quad 3.10$$

elde edilir. Burada

$$\beta = \frac{\Delta x}{\Delta y} \quad 3.11$$

olarak tanımlanırsa

$$\phi_{i+1,j} + \phi_{i-1,j} + \beta^2 \phi_{i,j+1} + \beta^2 \phi_{i,j-1} - 2(1 + \beta^2) \phi_{i,j} = 0 \quad 3.12$$

olur. Bu denklemde bulunmak istenen $u_{i,j}$ terimidir. Eşitliğin diğer tarafına atarak denklem

$$\phi_{i,j} = \frac{1}{2(1 + \beta^2)} [\phi_{i+1,j} + \phi_{i-1,j} + \beta^2 (\phi_{i,j+1} + \phi_{i,j-1})] \quad 3.13$$

şeklinde yazılabilir. $\Delta x = \Delta y$ olduğu için β değeri bire eşit olur. Bu durumda denklem ,

$$\phi_{i,j} = \frac{1}{4} [\phi_{i+1,j} + \phi_{i-1,j} + \phi_{i,j+1} + \phi_{i,j-1}] \quad 3.14$$

haline dönüşür.

Literatürde de en çok kullanılan bu yöntemde , her ağ noktasındaki değer , başlangıçta alınan tahmini değerlerle iteratif olarak çözümlenir. Başlangıçta , sınır noktalarındaki değerler , sınır şartlarını ; diğer noktalar sıfır değerlerini alarak çözüm yapılabilir. Her noktada yeterli hassasiyet sağlandıktan sonra çözüm sona erer. Bu durumdaki yenileme formülü ,

$$\phi_{i,j}^k = \frac{1}{4} [\phi_{i+1,j}^k + \phi_{i-1,j}^k + \phi_{i,j+1}^k + \phi_{i,j-1}^k] \quad 3.15$$

halindedir. Bu yönteme Jacobi çözüm yöntemi denir. “k” iterasyon adımını göstermektedir.

Bir başka yöntemde Nokta Gauss - Siedel Yenileme yöntemidir. Bu yöntemde her grid noktasında kullanılacak yenileme formülü , yeni değerler çıkar çıkmaz hemen kullanılmaktadır. Denklem ,

$$\phi_{i,j}^k = \frac{1}{4} [\phi_{i+1,j}^k + \phi_{i-1,j}^k + \phi_{i,j+1}^k + \phi_{i,j-1}^k] \quad 3.16$$

şeklindedir. (2)

3.5. Çözüm Algoritması

Akış alanın çözümü için gereken denklemler ve sınır şartları bundan önceki bölümlerde sunuldu. Bu bölümde verilen denklemlerin çözümü için işlem sırasını ve çözüm zamana bağlı olduğu için işlemi (iterasyonu) kesme kriterleri verilecektir.

1. Verilen sınır şartlarına göre akım fonksiyonu değerlerinin verilmesi ,
2. (k+1) adımında akım fonksiyonu değerlerinin bulunması ,

Burada iterasyon kesme kriteri için ,

$$\varepsilon \leq |\phi_{i,j}^{k+1} - \phi_{i,j}^k| \quad 3.17$$

Burada ε verilen hata terimidir ve çok küçük reel bir sayıdır.

3. Seçilen sınırlara göre sınır şartlarının uygulanması

4. Sürekli duruma ulaşıp ulaşılmadığının izlenilmesi ; ulaşılmadıysa işleme , 2 nolu basamağa geri dönülerek iteratif bir şekilde devam edilmesi.

4. BİLGİSAYAR PROGRAMI

Bilgisayar programında iki tür data vardır. Birinci tür data grid sistemle ilgilidir.İkincisi ise ortamın özelliklerini içerir.Grid sistemle ilgili datalar:

IMAX (X yönündeki grid sayısı) = 40

JMAX (Y yönündeki grid sayısı) = 8

DAL1 (Dalgakıranın başladığı grid noktasının numarası) = 16

DAL2 (Dalgakıranın bittiği grid noktasının numarası) = 24

DX (X ve Y yönündeki adım uzunluğu (metre)) = 1

Ortamın özellikleri ile ilgili bilgiler:

D (Dalgakıranın yapıldığı noktanın , derinliği (metre)) = 6

H (Dalganın yüksekliği (metre)) = 3

L (Dalganın uzunluğu (metre)) = 42.55

W (Dalganın periyodu (saniye)) = 6

Çıktılar , her grid noktasındaki değerleri : Her birim zaman için akım fonksiyonu , x , y yönündeki hızlar ile bileşke hızları , bileşke hızın yatayla yaptığı açıyı , iterasyon sayısını ve debiyi vermektedir

4.1. Bilgisayar Programı

```
10 CLS
```

```
20 OPEN "TEZÇIK.DAT" FOR OUTPUT AS #1
```

```
30 READ IMAX, JMAX, DAL1, DAL2, DX
```

```
40 READ D, H, L, W
```

```
50 DIM F(50, 20), U(50, 20), V(50, 20), W(50, 20), ALFA1(50, 20), ALFA2(50, 20), ALFA(50, 20), L(50, 20)
```

60 PI = 3.14159: K = 10 ^ -5

70 ZA = -1

80 ZA = ZA + 1

90 IF ZA = W THEN 1280

100 CLS

110 PRINT "LÜTFEN BILGISAYARI KULLANMAYINIZ, === ÇALISIYOR
===="

120 REM === GRID NOKTALARININ SIFIRLANMASI ===

130 FOR I = 1 TO IMAX

140 FOR J = 1 TO JMAX

150 F(I, J) = 0

160 NEXT J, I

170 REM === SINIR DEĞERLERİNİN OKUTULMASI ===

180 FOR I = 1 TO DAL1

190 F(I, JMAX) = D + (H * 2 / (EXP(-D * 2 * 3.14159 / L) + EXP(D * 2 * 3.14159 /
L)) * COS(2 * 3.14159 / L * DX * (DAL1 - I)) * COS(2 * 3.14159 / W * ZA)

200 NEXT I

210 FOR I = DAL2 TO IMAX

220 F(I, JMAX) = D

230 NEXT I

240 FOR J = 1 TO JMAX

250 F(1, J) = F(1, JMAX)

260 F(IMAX, J) = D

```

270 NEXT J
280 IMAX1 = IMAX - 1
290 JMAX1 = JMAX - 1
295 ITER = 0
300 DIF = 0
310 ITER = ITER + 1
320 IF ITER > 1000 THEN 1270

330 REM === HESAPLAMA KISMI ===

340 FOR I = 2 TO IMAX1
350 FOR J = 1 TO JMAX1
360 TEMP = F(I, J)
370 IF J = 2 GOTO 390
380 GOTO 400
390 F(I, J - 1) = F(I, J)
400 IF J = JMAX1 AND DAL1 < I AND I < DAL2 GOTO 420
410 GOTO 440
420 F = F(I, J)
430 F(I, J + 1) = F
440 F(I, J) = (F(I + 1, J) + F(I - 1, J) + F(I, J + 1) + F(I, J - 1)) / 4
450 DIF = ABS(TEMP - F(I, J))
460 NEXT J, I
470 IF ITER > 1000 THEN 1810
480 IF DIF > .00001 THEN 300

490 FOR I = 2 TO IMAX1
500 FOR J = 2 TO JMAX1
510 U(I, J) = (F(I - 1, J) - F(I + 1, J)) / 2 * DX
520 V(I, J) = (F(I, J + 1) - F(I, J - 1)) / 2 * DX

```

```

530 W(I, J) = SQR(V(I, J) ^ 2 + U(I, J) ^ 2)
540 IF V(I, J) = 0 THEN 580
550 L(I, J) = ABS(V(I, J)) / (U(I, J))
560 ALFA1(I, J) = ATN(L(I, J))
570 GOTO 590
580 ALFA1(I, J) = 0
590 ALFA2(I, J) = ALFA1(I, J) * 180 / PI
600 IF U(I, J) < 0 AND V(I, J) < 0 THEN ALFA(I, J) = 180 + ALFA2(I, J)
610 IF U(I, J) < 0 AND V(I, J) > 0 THEN ALFA(I, J) = 180 - ALFA2(I, J)
620 IF U(I, J) > 0 AND V(I, J) < 0 THEN ALFA(I, J) = 360 - ALFA2(I, J)
630 IF U(I, J) > 0 AND V(I, J) > 0 THEN ALFA(I, J) = ALFA2(I, J)
640 NEXT J, I

650 B = (DAL1 + DAL2) / 2
660 Q = DX / 2 * 10 ^ (-5) * ABS(U(B, 1) + DX / 2 * 10 ^ (-5) * ABS(U(B,
JMAX)))
670 FOR J = 2 TO JMAX1
680 Q = (Q + ABS(DX * 10 ^ (-5) * U(B, J)))
690 NEXT J

700 CLS
710 REM === DEĞERLERİN GÖSTERİMİ ===

720 PRINT " SIZMA AKIŞININ POTANSİYEL FONKSİYON DEĞERLERİ "
730 PRINT "-----"
740 PRINT "      1      2      3      4      5      6      7      8      "
750 PRINT "      ----  ----  ----  ----  ----  ----  ----  ----  "

760 PRINT #1, " SIZMA AKIŞININ POTANSİYEL FONKSİYON DEĞERLERİ "
770 PRINT #1, "-----"

```

```

780 PRINT #1, "    1    2    3    4    5    6    7    8    "
790 PRINT #1, "    ----    ----    ----    ----    ----    ----    ----    ----    "
800 FOR I = 1 TO IMAX
810 IF I < 10 THEN PRINT " "; : PRINT #1, " ";
820 PRINT I; : PRINT #1, I;
830 FOR J = 1 TO JMAX
840 PRINT USING "  ##.##"; F(I, J);
840 PRINT #1, USING "  ##.##"; F(I, J);
860 NEXT J
870 IF I = 15 THEN INPUT S
880 PRINT : PRINT #1,
890 NEXT I
900 PRINT : PRINT #1,

910 PRINT "SIZMA AKIŞININ YATAY ( U ) HIZI,DEĞERLERİ ((M/S) * 10^-5)"
920 PRINT "-----"
930 PRINT "    2    3    4    5    6    7    "
940 PRINT "    ----    ----    ----    ----    ----    ----    "
950 PRINT #1, "SIZMA AKIŞININ YATAY ( U ) HIZI , DEĞERLERİ (
(M/S)*10^-5 )"
960 PRINT #1, "-----"
970 PRINT #1, "    2    3    4    5    6    7    "
980 PRINT #1, "    ----    ----    ----    ----    ----    ----    "
990 FOR I = 2 TO IMAX1
1000 IF I < 10 THEN PRINT " "; : PRINT #1, " ";
1010 PRINT I; : PRINT #1, I;
1020 FOR J = 2 TO JMAX1
1030 PRINT USING "  ##.##"; U(I, J);
1040 PRINT #1, USING "  ##.##"; U(I, J);
1050 NEXT J
1060 IF I = 15 THEN INPUT S

```

```

1070 PRINT : PRINT #1,
1080 NEXT I
1090 PRINT : PRINT #1,

1100 PRINT " SIZMA AKIŞININ DÜSEY ( V ) HIZI , DEĞERLERİ ( (M/S) *
10^-5 )"
1120 PRINT "-----"
1130 PRINT "      2      3      4      5      6      7      "
1140 PRINT "      ---- ---- ---- ---- ---- ----      "
1150 PRINT #1, " SIZMA AKIŞININ DÜSEY ( V ) HIZI , DEĞERLERİ ( (M/S)
* 10^-5 )"
1160 PRINT #1, "-----"
1170 PRINT #1, "      2      3      4      5      6      7      "
1180 PRINT #1, "      ---- ---- ---- ---- ---- ----      "
1190 FOR I = 2 TO IMAX1
1200 IF I < 10 THEN PRINT " "; : PRINT #1, " ";
1210 PRINT I; : PRINT #1, I;
1220 FOR J = 2 TO JMAX1
1230 PRINT USING " ##.##"; V(I, J);
1240 PRINT #1, USING " ##.##"; V(I, J);
1250 NEXT J
1260 IF I = 15 THEN INPUT S
1270 PRINT : PRINT #1,
1280 NEXT I
1290 PRINT : PRINT #1,

1300 PRINT "SIZMA AKIŞININ BİLEŞKE HIZ DEĞERLERİ ( (M/S) * 10^-5 )"
1310 PRINT "-----"
1320 PRINT "      2      3      4      5      6      7      "
1330 PRINT "      ---- ---- ---- ---- ---- ----      "
1340 PRINT #1, "SIZMA AKIŞININ BİLEŞKE HIZ DEĞERLERİ ((M/S) * 10^-5 )"

```



```

1350 PRINT #1, "-----"
1360 PRINT #1, "    2    3    4    5    6    7    "
1370 PRINT #1, "    ----    ----    ----    ----    ----    "
1380 FOR I = 2 TO IMAX1
1390 IF I < 10 THEN PRINT " "; : PRINT #1, " ";
1400 PRINT I; : PRINT #1, I;
1410 FOR J = 2 TO JMAX1
1420 PRINT USING " ##.##"; W(I, J);
1430 PRINT #1, USING " ##.##"; W(I, J);
1440 NEXT J
1450 IF I = 15 THEN INPUT S
1460 PRINT : PRINT #1,
1470 NEXT I
1480 PRINT : PRINT #1,

1490 PRINT "  SIZMA AKIŞININ YATAYLA YAPTIĞI AÇININ DEĞERLERİ
(DERECE)"
1500 PRINT "-----"
1510 PRINT "    2    3    4    5    6    7    "
1520 PRINT "    ----    ----    ----    ----    ----    "
1530 PRINT #1, "    SIZMA AKIŞININ YATAYLA YAPTIĞI AÇININ
DEĞERLERİ (DERECE)"
1540 PRINT #1, "-----"
1550 PRINT #1, "    2    3    4    5    6    7    "
1560 PRINT #1, "    ----    ----    ----    ----    ----    "
1570 FOR I = 2 TO IMAX1
1580 IF I < 10 THEN PRINT " "; : PRINT #1, " ";
1590 PRINT I; : PRINT #1, I;
1600 FOR J = 2 TO JMAX1
1610 PRINT USING " ###.##"; ALFA(I, J);
1620 PRINT #1, USING " ###.##"; ALFA(I, J);

```

```
1630 NEXT J
1640 IF I = 15 THEN INPUT S
1650 PRINT : PRINT #1,
1660 NEXT I
1670 PRINT : PRINT #1,

1680 PRINT "PERMEABILITE KATSAYISI K ="; K
1690 PRINT #1, "PERMEABILITE KATSAYISI K ="; K

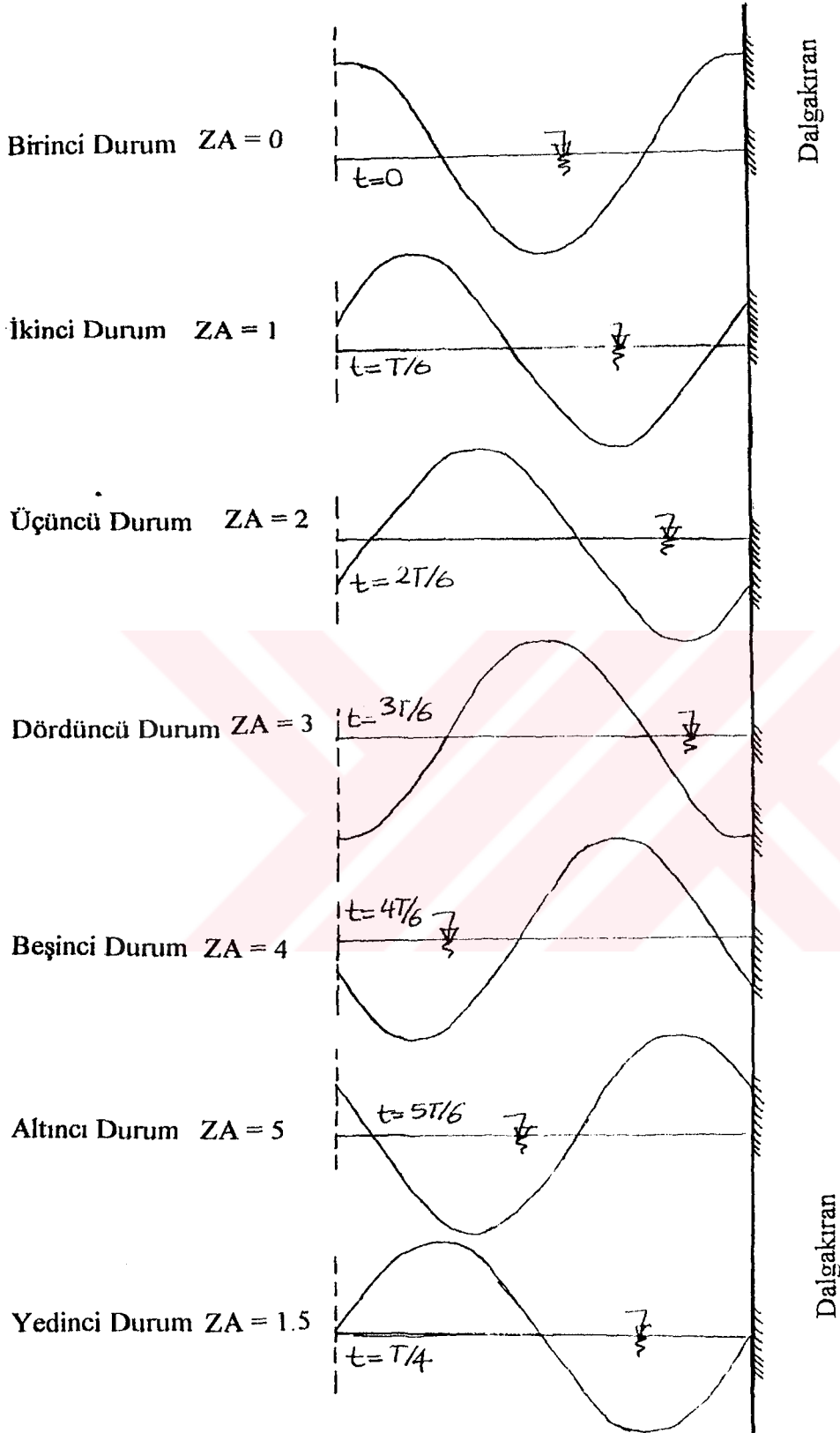
1700 PRINT "DEBI (M^3/S/M) ="; Q
1710 PRINT #1, "DEBI (M^3/S/M) ="; Q

1720 PRINT "ITER="; ITER
1730 PRINT #1, "ITER="; ITER

1740 PRINT " ZA ="; ZA
1750 PRINT #1, " ZA ="; ZA

1760 PRINT "DIĞER ZAMAN ASAMASI İÇİN HAZIR OLDUĞUNUZDA
ENTER'E BASINIZ";
1770 INPUT S
1780 PRINT : PRINT #1,
1790 GOTO 80
1800 GOTO 1820
1810 PRINT "VERILERI KONTROL EDİN"
1820 END

1290 IF DIFMX > .00001 THEN 100
1300 DATA 40,8,16,24,1
1310 DATA 6,3,42.55,6
```



Şekil 4.1. Dalgakıranın her zaman dilimindeki şekli

4.2. Bilgisayar Programının Çıktıları

SIZMA AKIŞININ POTANSİYEL FONKSİYON DEĞERLERİ (T/M²)

BİRİNCİ DURUM (DALGANIN ZA = 0 DAKİ DURUMU)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	4.73	4.73	4.73	4.73	4.73	4.73	4.73	4.73
2	4.98	4.98	4.99	4.99	4.99	5.00	5.00	4.99
3	5.23	5.23	5.24	5.25	5.26	5.27	5.28	5.28
4	5.48	5.48	5.49	5.50	5.52	5.54	5.56	5.58
5	5.72	5.72	5.73	5.75	5.78	5.81	5.85	5.89
6	5.96	5.96	5.97	6.00	6.03	6.08	6.14	6.20
7	6.18	6.18	6.19	6.23	6.28	6.34	6.42	6.51
8	6.38	6.38	6.40	6.45	6.51	6.59	6.69	6.80
9	6.57	6.57	6.59	6.64	6.72	6.81	6.94	7.08
10	6.73	6.73	6.76	6.82	6.90	7.02	7.16	7.34
11	6.87	6.87	6.90	6.97	7.06	7.20	7.36	7.56
12	6.97	6.97	7.01	7.08	7.19	7.34	7.53	7.76
13	7.05	7.05	7.08	7.16	7.28	7.44	7.65	7.91
14	7.08	7.09	7.12	7.20	7.32	7.49	7.73	8.02
15	7.09	7.09	7.13	7.20	7.32	7.49	7.74	8.09
16	7.06	7.06	7.09	7.16	7.26	7.41	7.65	8.11
17	7.00	7.00	7.03	7.08	7.15	7.24	7.34	7.34
18	6.93	6.93	6.95	6.98	7.03	7.08	7.12	7.12
19	6.84	6.84	6.85	6.87	6.90	6.93	6.94	6.94
20	6.74	6.74	6.75	6.76	6.77	6.78	6.79	6.79
21	6.64	6.64	6.64	6.65	6.65	6.65	6.65	6.65
22	6.54	6.54	6.54	6.54	6.53	6.52	6.51	6.51
23	6.45	6.45	6.45	6.44	6.42	6.39	6.36	6.36
24	6.37	6.37	6.36	6.35	6.32	6.27	6.19	6.00
25	6.30	6.30	6.29	6.27	6.24	6.19	6.11	6.00
26	6.23	6.24	6.23	6.21	6.18	6.14	6.08	6.00
27	6.18	6.18	6.18	6.16	6.14	6.10	6.05	6.00
28	6.14	6.14	6.14	6.12	6.10	6.07	6.04	6.00
29	6.11	6.11	6.11	6.09	6.08	6.06	6.03	6.00
30	6.08	6.08	6.08	6.07	6.06	6.04	6.02	6.00
31	6.06	6.06	6.06	6.05	6.04	6.03	6.02	6.00
32	6.05	6.05	6.05	6.04	6.03	6.02	6.01	6.00
33	6.04	6.04	6.03	6.03	6.03	6.02	6.01	6.00
34	6.03	6.03	6.03	6.02	6.02	6.01	6.01	6.00
35	6.02	6.02	6.02	6.02	6.01	6.01	6.01	6.00
36	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01	6.00	6.00
37	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01	6.00	6.00	6.00
38	6.01	6.01	6.01	6.01	6.00	6.00	6.00	6.00
39	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
40	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00

SIZMA AKIŞININ YATAY (U) HIZI , DEĞERLERİ ((M/S) * 10⁻⁵)

	2	3	4	5	6	7
2	-0.25	-0.25	-0.26	-0.26	-0.27	-0.27
3	-0.25	-0.25	-0.26	-0.26	-0.27	-0.28
4	-0.24	-0.25	-0.25	-0.26	-0.27	-0.29
5	-0.24	-0.24	-0.25	-0.26	-0.27	-0.29
6	-0.23	-0.23	-0.24	-0.25	-0.26	-0.28
7	-0.21	-0.22	-0.22	-0.24	-0.25	-0.27
8	-0.20	-0.20	-0.21	-0.22	-0.24	-0.26
9	-0.17	-0.18	-0.19	-0.20	-0.22	-0.24
10	-0.15	-0.15	-0.16	-0.17	-0.19	-0.21
11	-0.12	-0.12	-0.13	-0.14	-0.16	-0.18
12	-0.09	-0.09	-0.10	-0.11	-0.12	-0.14
13	-0.06	-0.06	-0.06	-0.07	-0.08	-0.10
14	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.04
15	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04
16	0.04	0.05	0.06	0.08	0.12	0.20
17	0.07	0.07	0.09	0.12	0.17	0.27
18	0.08	0.09	0.10	0.13	0.16	0.20
19	0.09	0.10	0.11	0.13	0.15	0.16
20	0.10	0.10	0.11	0.12	0.14	0.15
21	0.10	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14
22	0.09	0.10	0.10	0.11	0.13	0.14
23	0.09	0.09	0.10	0.11	0.12	0.16
24	0.08	0.08	0.08	0.09	0.10	0.13
25	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06
26	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.03
27	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.02
28	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.01
29	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01
30	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
31	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00
32	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
33	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
34	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
35	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
36	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

SIZMA AKIŞININ DÜŞEY (V) HIZI , DEĞERLERİ ((M/S) * 10⁻⁵)

	2	3	4	5	6	7
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00
3	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
4	0.00	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
5	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04
6	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06
7	0.01	0.02	0.04	0.06	0.07	0.08
8	0.01	0.03	0.05	0.07	0.09	0.11
9	0.01	0.04	0.06	0.09	0.11	0.13
10	0.01	0.04	0.07	0.10	0.13	0.16
11	0.02	0.05	0.08	0.12	0.15	0.18
12	0.02	0.05	0.09	0.13	0.17	0.21
13	0.02	0.06	0.10	0.14	0.19	0.24
14	0.02	0.06	0.10	0.15	0.20	0.26
15	0.02	0.06	0.10	0.15	0.21	0.30
16	0.02	0.05	0.08	0.13	0.20	0.35
17	0.01	0.04	0.06	0.08	0.09	0.05
18	0.01	0.03	0.04	0.05	0.05	0.02
19	0.01	0.02	0.02	0.03	0.02	0.01
20	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00
22	0.00	-0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
23	-0.00	-0.01	-0.01	-0.02	-0.03	-0.02
24	-0.00	-0.01	-0.02	-0.04	-0.07	-0.14
25	-0.00	-0.01	-0.02	-0.04	-0.06	-0.10
26	-0.00	-0.01	-0.02	-0.04	-0.05	-0.07
27	-0.00	-0.01	-0.02	-0.03	-0.04	-0.05
28	-0.00	-0.01	-0.02	-0.02	-0.03	-0.04
29	-0.00	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.03
30	-0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02
31	-0.00	-0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02
32	-0.00	-0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
33	-0.00	-0.00	-0.00	-0.01	-0.01	-0.01
34	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.01	-0.01
35	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
36	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
37	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
38	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
39	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00

SIZMA AKIŞININ BİLEŞKE HIZ DEĞERLERİ ((M/S) * 10⁻⁵)

	2	3	4	5	6	7
2	0.25	0.25	0.26	0.26	0.27	0.27
3	0.25	0.25	0.26	0.26	0.27	0.28
4	0.24	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29
5	0.24	0.24	0.25	0.26	0.27	0.29
6	0.23	0.23	0.24	0.25	0.27	0.29
7	0.21	0.22	0.23	0.24	0.26	0.29
8	0.20	0.20	0.21	0.23	0.25	0.28
9	0.17	0.18	0.20	0.22	0.24	0.27
10	0.15	0.16	0.18	0.20	0.23	0.27
11	0.12	0.13	0.15	0.18	0.22	0.26
12	0.09	0.11	0.13	0.17	0.21	0.25
13	0.06	0.08	0.11	0.15	0.20	0.26
14	0.03	0.06	0.10	0.15	0.20	0.27
15	0.02	0.06	0.10	0.15	0.22	0.30
16	0.05	0.07	0.10	0.15	0.23	0.41
17	0.07	0.08	0.11	0.14	0.19	0.27
18	0.08	0.09	0.11	0.14	0.17	0.20
19	0.09	0.10	0.11	0.13	0.15	0.16
20	0.10	0.10	0.11	0.12	0.14	0.15
21	0.10	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14
22	0.09	0.10	0.10	0.11	0.13	0.14
23	0.09	0.09	0.10	0.11	0.13	0.16
24	0.08	0.08	0.09	0.10	0.12	0.19
25	0.07	0.07	0.07	0.08	0.09	0.11
26	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07
27	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
28	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
29	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
30	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
31	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
32	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
33	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
34	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
35	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
36	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

SIZMA AKIŞININ YATAYLA YAPTIĞI AÇININ DEĞERLERİ (DERECE)

	2	3	4	5	6	7
2	180.23	180.61	180.89	180.96	180.64	179.51
3	180.48	181.33	181.98	182.29	182.07	181.01
4	180.80	182.23	183.40	184.16	184.35	183.78
5	181.20	183.36	185.22	186.60	187.37	187.43
6	181.70	184.79	187.49	189.63	191.08	191.79
7	182.33	186.57	190.30	193.31	195.49	196.83
8	183.13	188.82	193.80	197.79	200.70	202.59
9	184.19	191.75	198.23	203.28	206.87	209.17
10	185.66	195.72	204.00	210.13	214.25	216.71
11	187.87	201.42	211.80	218.88	223.19	225.40
12	191.58	210.22	222.73	230.18	234.06	235.41
13	199.24	225.01	238.20	244.68	247.26	246.97
14	223.19	250.69	259.06	262.48	263.03	260.52
15	56.28	74.02	76.80	77.47	78.63	82.69
16	21.34	44.88	53.77	56.70	57.79	60.24
17	11.33	26.76	34.38	35.35	29.23	9.87
18	6.75	16.04	21.05	21.24	16.34	5.82
19	4.17	9.45	12.32	12.22	9.10	3.13
20	2.52	5.04	6.29	5.98	4.25	1.26
21	1.29	1.69	1.52	0.86	0.14	359.65
22	0.23	358.64	356.91	355.44	355.28	357.69
23	359.17	355.47	351.62	348.16	347.09	354.46
24	358.12	352.14	345.44	337.42	326.97	312.57
25	357.22	349.30	340.43	329.96	317.09	300.38
26	356.54	347.16	336.82	324.98	310.98	293.65
27	356.09	345.68	334.39	321.73	307.21	290.15
28	355.83	344.74	332.84	319.71	304.97	288.33
29	355.72	344.21	331.94	318.53	303.71	287.39
30	355.72	343.98	331.50	317.94	303.08	286.94
31	355.81	343.98	331.42	317.78	302.87	286.78
32	355.97	344.17	331.61	317.95	302.99	286.83
33	356.19	344.52	332.08	318.46	303.42	287.08
34	356.45	345.08	332.87	319.37	304.24	287.57
35	356.78	345.92	334.14	320.88	305.67	288.45
36	357.18	347.18	336.18	323.43	308.18	290.08
37	357.69	349.09	339.43	327.74	312.73	293.23
38	358.32	351.87	344.44	334.89	321.21	300.02
39	359.11	355.62	351.49	345.86	336.64	317.09

SIZMA AKIŞININ POTANSİYEL FONKSİYON DEĞERLERİ (T/M²)

İKİNCİ DURUM (DALGANIN ZA = 1 DEKİ DURUMU)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	5.37	5.37	5.37	5.37	5.37	5.37	5.37	5.37
2	5.49	5.49	5.49	5.49	5.50	5.50	5.50	5.50
3	5.61	5.61	5.62	5.62	5.63	5.63	5.64	5.64
4	5.74	5.74	5.74	5.75	5.76	5.77	5.78	5.79
5	5.85	5.85	5.86	5.87	5.88	5.90	5.92	5.94
6	5.97	5.97	5.98	5.99	6.01	6.04	6.07	6.10
7	6.08	6.08	6.09	6.11	6.13	6.17	6.21	6.25
8	6.18	6.18	6.19	6.21	6.24	6.29	6.34	6.40
9	6.27	6.27	6.28	6.31	6.35	6.40	6.46	6.54
10	6.35	6.35	6.36	6.39	6.44	6.50	6.58	6.67
11	6.41	6.41	6.43	6.47	6.52	6.59	6.68	6.78
12	6.46	6.46	6.48	6.52	6.58	6.66	6.76	6.88
13	6.50	6.50	6.52	6.56	6.62	6.71	6.82	6.96
14	6.51	6.51	6.53	6.58	6.64	6.73	6.86	7.01
15	6.51	6.51	6.53	6.57	6.63	6.73	6.86	7.05
16	6.49	6.49	6.51	6.55	6.60	6.68	6.81	7.06
17	6.46	6.46	6.48	6.50	6.54	6.59	6.64	6.64
18	6.42	6.42	6.43	6.45	6.48	6.50	6.53	6.53
19	6.37	6.37	6.38	6.39	6.41	6.43	6.44	6.44
20	6.32	6.33	6.33	6.34	6.35	6.35	6.36	6.36
21	6.28	6.28	6.28	6.28	6.29	6.29	6.29	6.29
22	6.23	6.23	6.23	6.23	6.23	6.23	6.22	6.22
23	6.19	6.19	6.19	6.19	6.18	6.17	6.16	6.16
24	6.15	6.15	6.15	6.14	6.13	6.12	6.08	6.00
25	6.12	6.12	6.12	6.11	6.10	6.08	6.05	6.00
26	6.09	6.09	6.09	6.08	6.07	6.05	6.03	6.00
27	6.07	6.07	6.07	6.06	6.05	6.04	6.02	6.00
28	6.05	6.05	6.05	6.04	6.04	6.03	6.01	6.00
29	6.04	6.04	6.04	6.03	6.03	6.02	6.01	6.00
30	6.03	6.03	6.03	6.02	6.02	6.01	6.01	6.00
31	6.02	6.02	6.02	6.02	6.01	6.01	6.01	6.00
32	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01	6.00	6.00
33	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01	6.00	6.00	6.00
34	6.01	6.01	6.01	6.01	6.00	6.00	6.00	6.00
35	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
36	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
37	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
38	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
39	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
40	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00

SIZMA AKIŞININ YATAY (U) HIZI , DEĞERLERİ ((M/S) * 10⁻⁵)

	2	3	4	5	6	7
2	-0.12	-0.13	-0.13	-0.13	-0.13	-0.14
3	-0.12	-0.12	-0.13	-0.13	-0.13	-0.14
4	-0.12	-0.12	-0.13	-0.13	-0.14	-0.14
5	-0.12	-0.12	-0.12	-0.13	-0.13	-0.14
6	-0.11	-0.11	-0.12	-0.12	-0.13	-0.14
7	-0.10	-0.11	-0.11	-0.12	-0.13	-0.14
8	-0.10	-0.10	-0.10	-0.11	-0.12	-0.13
9	-0.08	-0.09	-0.09	-0.10	-0.11	-0.12
10	-0.07	-0.07	-0.08	-0.08	-0.09	-0.11
11	-0.06	-0.06	-0.06	-0.07	-0.08	-0.09
12	-0.04	-0.04	-0.05	-0.05	-0.06	-0.07
13	-0.02	-0.03	-0.03	-0.03	-0.04	-0.05
14	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02
15	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.02
16	0.02	0.03	0.03	0.05	0.07	0.11
17	0.04	0.04	0.05	0.06	0.09	0.14
18	0.04	0.05	0.05	0.07	0.08	0.10
19	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.08
20	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07
21	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07
22	0.04	0.05	0.05	0.05	0.06	0.07
23	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.07
24	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06
25	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02
26	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01
27	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
28	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
29	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
30	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
31	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

SIZMA AKIŞININ DÜŞEY (V) HIZI , DEĞERLERİ ((M/S) * 10⁻⁵)

	2	3	4	5	6	7
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
4	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
5	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
6	0.00	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03
7	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.04
8	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06
9	0.01	0.02	0.03	0.05	0.06	0.07
10	0.01	0.02	0.04	0.05	0.07	0.08
11	0.01	0.03	0.04	0.06	0.08	0.10
12	0.01	0.03	0.05	0.07	0.09	0.11
13	0.01	0.03	0.05	0.07	0.10	0.12
14	0.01	0.03	0.05	0.08	0.11	0.14
15	0.01	0.03	0.05	0.08	0.11	0.16
16	0.01	0.03	0.04	0.07	0.10	0.19
17	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.02
18	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.01
19	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00
20	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00
22	0.00	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
23	0.00	-0.00	-0.00	-0.01	-0.01	-0.01
24	-0.00	-0.00	-0.01	-0.01	-0.03	-0.06
25	-0.00	-0.00	-0.01	-0.02	-0.03	-0.04
26	-0.00	-0.00	-0.01	-0.01	-0.02	-0.03
27	-0.00	-0.00	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02
28	-0.00	-0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
29	-0.00	-0.00	-0.00	-0.01	-0.01	-0.01
30	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.01	-0.01
31	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
32	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
33	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
34	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
35	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
36	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
37	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
38	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
39	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00

SIZMA AKIŞININ BİLEŞKE HIZ DEĞERLERİ ((M/S) * 10⁻⁵)

	2	3	4	5	6	7
2	0.12	0.13	0.13	0.13	0.13	0.14
3	0.12	0.12	0.13	0.13	0.13	0.14
4	0.12	0.12	0.13	0.13	0.14	0.14
5	0.12	0.12	0.12	0.13	0.14	0.14
6	0.11	0.11	0.12	0.13	0.13	0.15
7	0.10	0.11	0.11	0.12	0.13	0.14
8	0.10	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14
9	0.09	0.09	0.10	0.11	0.12	0.14
10	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12	0.13
11	0.06	0.07	0.08	0.09	0.11	0.13
12	0.04	0.05	0.07	0.09	0.11	0.13
13	0.03	0.04	0.06	0.08	0.11	0.13
14	0.01	0.03	0.05	0.08	0.11	0.14
15	0.01	0.03	0.05	0.08	0.12	0.16
16	0.03	0.04	0.06	0.08	0.12	0.22
17	0.04	0.04	0.06	0.08	0.10	0.14
18	0.04	0.05	0.06	0.07	0.09	0.10
19	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08	0.08
20	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07
21	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07
22	0.04	0.05	0.05	0.05	0.06	0.07
23	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.07
24	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.08
25	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05
26	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
27	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
28	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
29	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
30	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
31	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

SIZMA AKIŞININ YATAYLA YAPTIĞI AÇININ DEĞERLERİ (DERECE)

	2	3	4	5	6	7
2	180.27	180.70	181.01	181.10	180.79	179.67
3	180.57	181.50	182.23	182.59	182.39	181.33
4	180.93	182.50	183.79	184.62	184.83	184.26
5	181.38	183.75	185.76	187.23	188.03	188.07
6	181.94	185.31	188.21	190.46	191.93	192.60
7	182.65	187.26	191.25	194.38	196.56	197.82
8	183.57	189.74	195.03	199.14	202.02	203.77
9	184.79	193.00	199.83	204.97	208.46	210.54
10	186.51	197.45	206.11	212.24	216.13	218.26
11	189.16	203.90	214.59	221.45	225.33	227.07
12	193.78	213.94	226.34	233.16	236.37	237.11
13	203.88	230.67	242.53	247.82	249.51	248.54
14	237.46	257.85	263.27	265.24	264.90	261.78
15	47.80	69.36	74.02	75.67	77.43	81.91
16	21.40	43.91	52.90	56.05	57.35	59.98
17	12.39	27.52	34.90	35.70	29.43	9.84
18	7.98	17.43	22.31	22.22	16.95	5.85
19	5.45	11.06	13.94	13.57	9.98	3.20
20	3.83	6.78	8.13	7.59	5.34	1.36
21	2.67	3.57	3.59	2.73	1.45	359.82
22	1.69	0.72	359.27	357.64	356.85	357.96
23	0.75	357.80	354.36	350.80	349.04	354.86
24	359.84	354.79	348.63	340.61	329.48	313.82
25	359.11	352.26	344.05	333.63	320.09	302.15
26	358.62	350.46	340.89	329.14	314.45	295.72
27	358.40	349.35	338.94	326.43	311.17	292.48
28	358.41	348.83	337.94	325.01	309.46	290.94
29	358.63	348.79	337.66	324.52	308.81	290.34
30	359.02	349.12	337.93	324.72	308.88	290.29
31	359.58	349.75	338.62	325.43	309.47	290.60
32	0.29	350.63	339.65	326.53	310.45	291.18
33	1.15	351.72	340.95	327.94	311.74	291.96
34	2.16	352.99	342.46	329.61	313.30	292.94
35	3.31	354.39	344.14	331.51	315.13	294.13
36	4.52	355.89	345.99	333.70	317.39	295.66
37	5.52	357.36	348.10	336.53	320.67	298.18
38	5.62	358.60	350.82	340.99	326.71	303.68
39	3.73	359.40	354.75	348.77	339.23	319.08

SIZMA AKIŞININ POTANSİYEL FONKSİYON DEĞERLERİ (T/M²)

ÜÇÜNCÜ DURUM (DALGANIN ZA = 2 DEKİ DURUMU)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	6.63	6.63	6.63	6.63	6.63	6.63	6.63	6.63
2	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50
3	6.37	6.37	6.37	6.37	6.37	6.36	6.36	6.36
4	6.24	6.24	6.24	6.24	6.23	6.22	6.22	6.21
5	6.12	6.12	6.11	6.11	6.10	6.08	6.07	6.06
6	5.99	5.99	5.99	5.98	5.97	5.95	5.93	5.90
7	5.88	5.88	5.87	5.86	5.84	5.82	5.78	5.75
8	5.77	5.77	5.76	5.75	5.72	5.69	5.65	5.60
9	5.67	5.67	5.66	5.64	5.61	5.57	5.52	5.46
10	5.58	5.58	5.57	5.55	5.51	5.47	5.41	5.33
11	5.50	5.50	5.49	5.47	5.43	5.37	5.30	5.22
12	5.44	5.44	5.43	5.40	5.36	5.30	5.22	5.12
13	5.40	5.40	5.38	5.35	5.31	5.24	5.15	5.04
14	5.37	5.37	5.35	5.32	5.28	5.21	5.11	4.99
15	5.35	5.36	5.34	5.32	5.27	5.20	5.10	4.95
16	5.36	5.36	5.35	5.33	5.29	5.23	5.13	4.94
17	5.38	5.38	5.37	5.35	5.33	5.29	5.26	5.25
18	5.41	5.41	5.41	5.40	5.38	5.36	5.35	5.34
19	5.45	5.45	5.45	5.45	5.44	5.43	5.42	5.42
20	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.49
21	5.55	5.55	5.56	5.56	5.56	5.57	5.57	5.57
22	5.61	5.61	5.61	5.62	5.63	5.64	5.65	5.65
23	5.66	5.66	5.67	5.68	5.70	5.72	5.75	5.74
24	5.71	5.71	5.72	5.74	5.76	5.80	5.87	6.00
25	5.76	5.76	5.77	5.79	5.81	5.86	5.92	6.00
26	5.80	5.80	5.81	5.83	5.85	5.89	5.94	6.00
27	5.84	5.84	5.85	5.86	5.88	5.92	5.96	6.00
28	5.87	5.87	5.87	5.89	5.91	5.93	5.97	6.00
29	5.89	5.89	5.90	5.91	5.93	5.95	5.97	6.00
30	5.91	5.91	5.92	5.93	5.94	5.96	5.98	6.00
31	5.93	5.93	5.93	5.94	5.95	5.97	5.98	6.00
32	5.94	5.94	5.95	5.95	5.96	5.97	5.99	6.00
33	5.95	5.95	5.96	5.96	5.97	5.98	5.99	6.00
34	5.96	5.96	5.97	5.97	5.98	5.98	5.99	6.00
35	5.97	5.97	5.97	5.98	5.98	5.99	5.99	6.00
36	5.98	5.98	5.98	5.98	5.99	5.99	6.00	6.00
37	5.98	5.98	5.99	5.99	5.99	5.99	6.00	6.00
38	5.99	5.99	5.99	5.99	5.99	6.00	6.00	6.00
39	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
40	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00

SIZMA AKIŞININ YATAY (U) HIZI , DEĞERLERİ ((M/S) * 10⁻⁵)

	2	3	4	5	6	7
2	0.13	0.13	0.13	0.13	0.14	0.14
3	0.13	0.13	0.13	0.13	0.14	0.14
4	0.13	0.13	0.13	0.13	0.14	0.14
5	0.12	0.13	0.13	0.13	0.14	0.15
6	0.12	0.12	0.12	0.13	0.13	0.14
7	0.11	0.11	0.12	0.12	0.13	0.14
8	0.10	0.11	0.11	0.11	0.12	0.13
9	0.09	0.10	0.10	0.10	0.11	0.12
10	0.08	0.08	0.09	0.09	0.10	0.11
11	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.09
12	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07
13	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05
14	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03
15	0.00	0.00	-0.00	-0.01	-0.01	-0.01
16	-0.01	-0.01	-0.02	-0.03	-0.05	-0.08
17	-0.03	-0.03	-0.03	-0.05	-0.07	-0.11
18	-0.04	-0.04	-0.05	-0.05	-0.07	-0.08
19	-0.04	-0.05	-0.05	-0.06	-0.07	-0.08
20	-0.05	-0.05	-0.06	-0.06	-0.07	-0.07
21	-0.05	-0.06	-0.06	-0.07	-0.07	-0.08
22	-0.05	-0.06	-0.06	-0.07	-0.08	-0.09
23	-0.05	-0.05	-0.06	-0.07	-0.08	-0.11
24	-0.05	-0.05	-0.05	-0.06	-0.07	-0.08
25	-0.04	-0.04	-0.05	-0.05	-0.05	-0.04
26	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.03	-0.02
27	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.02	-0.01
28	-0.03	-0.03	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01
29	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01
30	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01	-0.00
31	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.00
32	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.00
33	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.00	-0.00
34	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.00	-0.00
35	-0.01	-0.01	-0.01	-0.00	-0.00	-0.00
36	-0.01	-0.01	-0.01	-0.00	-0.00	-0.00
37	-0.01	-0.01	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
38	-0.01	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
39	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00

SIZMA AKIŞININ DÜŞEY (V) HIZI , DEĞERLERİ ((M/S) * 10⁻⁵)

	2	3	4	5	6	7
2	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00
3	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
4	-0.00	-0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
5	-0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
6	-0.00	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02
7	-0.00	-0.01	-0.02	-0.02	-0.03	-0.03
8	-0.00	-0.01	-0.02	-0.03	-0.04	-0.05
9	-0.00	-0.01	-0.02	-0.03	-0.05	-0.06
10	-0.00	-0.02	-0.03	-0.04	-0.05	-0.07
11	-0.01	-0.02	-0.03	-0.05	-0.06	-0.08
12	-0.01	-0.02	-0.04	-0.05	-0.07	-0.09
13	-0.01	-0.02	-0.04	-0.06	-0.08	-0.10
14	-0.01	-0.02	-0.04	-0.06	-0.08	-0.11
15	-0.01	-0.02	-0.04	-0.06	-0.09	-0.12
16	-0.00	-0.02	-0.03	-0.05	-0.08	-0.14
17	-0.00	-0.01	-0.02	-0.03	-0.04	-0.02
18	-0.00	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.01
19	-0.00	-0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.00
20	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
23	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01
24	0.00	0.01	0.02	0.03	0.05	0.10
25	0.01	0.01	0.02	0.03	0.05	0.07
26	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
27	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.04
28	0.00	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03
29	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03
30	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
31	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
32	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
33	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
34	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
35	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

SIZMA AKIŞININ BİLEŞKE HIZ DEĞERLERİ ((M/S) * 10⁻⁵)

	2	3	4	5	6	7
2	0.13	0.13	0.13	0.13	0.14	0.14
3	0.13	0.13	0.13	0.13	0.14	0.14
4	0.13	0.13	0.13	0.13	0.14	0.14
5	0.12	0.13	0.13	0.13	0.14	0.15
6	0.12	0.12	0.12	0.13	0.14	0.15
7	0.11	0.11	0.12	0.12	0.13	0.14
8	0.10	0.11	0.11	0.12	0.13	0.14
9	0.09	0.10	0.10	0.11	0.12	0.13
10	0.08	0.09	0.09	0.10	0.11	0.13
11	0.07	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12
12	0.05	0.06	0.07	0.08	0.10	0.12
13	0.04	0.04	0.05	0.07	0.09	0.11
14	0.02	0.03	0.04	0.06	0.08	0.11
15	0.01	0.02	0.04	0.06	0.09	0.12
16	0.01	0.02	0.04	0.06	0.09	0.16
17	0.03	0.03	0.04	0.06	0.08	0.11
18	0.04	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08
19	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08
20	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07
21	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07	0.08
22	0.05	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09
23	0.05	0.06	0.06	0.07	0.08	0.11
24	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08	0.13
25	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08
26	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06
27	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04
28	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
29	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03
30	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
31	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
32	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
33	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
34	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
35	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
36	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
37	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
38	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

SIZMA AKIŞININ YATAYLA YAPTIĞI AÇININ DEĞERLERİ (DERECE)

	2	3	4	5	6	7
2	359.89	359.63	359.46	359.46	359.82	0.96
3	359.75	359.16	358.72	358.55	358.85	359.92
4	359.55	358.54	357.68	357.13	357.05	357.61
5	359.30	357.71	356.30	355.20	354.54	354.44
6	358.97	356.65	354.53	352.74	351.40	350.58
7	358.56	355.34	352.34	349.73	347.63	346.10
8	358.05	353.70	349.65	346.09	343.17	340.94
9	357.40	351.62	346.28	341.64	337.87	335.01
10	356.54	348.89	341.95	336.08	331.47	328.11
11	355.35	345.15	336.15	328.90	323.56	319.98
12	353.56	339.59	327.96	319.31	313.55	310.27
13	350.44	330.44	315.70	306.11	300.65	298.54
14	343.17	312.94	296.61	287.98	284.03	284.11
15	303.52	276.29	91.18	95.10	96.59	94.31
16	159.05	130.22	122.30	120.57	120.40	118.73
17	173.15	156.47	147.77	146.04	151.54	170.00
18	177.64	168.97	163.56	162.35	165.87	174.28
19	179.87	175.72	172.95	172.19	173.78	177.10
20	181.25	179.98	179.07	178.71	178.92	179.05
21	182.30	183.25	183.89	184.00	183.22	180.78
22	183.30	186.35	188.68	189.69	188.32	182.93
23	184.38	189.72	194.33	197.42	196.91	186.36
24	185.51	193.33	200.96	208.72	217.68	229.67
25	186.54	196.46	206.34	216.59	228.05	242.58
26	187.36	198.87	210.28	221.94	234.54	249.54
27	187.98	200.62	213.04	225.51	238.58	253.13
28	188.44	201.82	214.90	227.84	241.04	255.01
29	188.76	202.61	216.08	229.28	242.49	256.02
30	188.95	203.05	216.74	230.08	243.27	256.54
31	189.03	203.18	216.95	230.36	243.57	256.74
32	188.99	203.00	216.71	230.16	243.44	256.69
33	188.79	202.46	215.98	229.42	242.85	256.37
34	188.40	201.46	214.61	227.99	241.68	255.70
35	187.77	199.89	212.42	225.61	239.64	254.52
36	186.85	197.60	209.10	221.83	236.25	252.47
37	185.58	194.45	204.32	216.01	230.55	248.75
38	183.98	190.38	197.79	207.30	220.80	241.30
39	182.08	185.45	189.50	195.07	204.23	223.61

SIZMA AKIŞININ POTANSİYEL FONKSİYON DEĞERLERİ (T/M²)

DÖRDÜNCÜ DURUM (DALGANIN ZA = 3 DEKİ DURUMU)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	7.27	7.27	7.27	7.27	7.27	7.27	7.27	7.27
2	7.01	7.01	7.01	7.01	7.00	7.00	7.00	7.01
3	6.75	6.75	6.75	6.74	6.73	6.73	6.72	6.72
4	6.50	6.50	6.49	6.48	6.47	6.45	6.43	6.42
5	6.25	6.25	6.24	6.23	6.20	6.18	6.14	6.11
6	6.01	6.01	6.00	5.98	5.94	5.90	5.86	5.80
7	5.78	5.78	5.76	5.74	5.70	5.64	5.57	5.49
8	5.56	5.56	5.55	5.51	5.46	5.39	5.30	5.20
9	5.37	5.37	5.35	5.31	5.24	5.16	5.05	4.92
10	5.20	5.20	5.17	5.12	5.05	4.95	4.82	4.66
11	5.05	5.05	5.02	4.97	4.88	4.77	4.62	4.44
12	4.93	4.93	4.90	4.84	4.75	4.62	4.45	4.24
13	4.85	4.85	4.82	4.75	4.65	4.51	4.32	4.09
14	4.79	4.80	4.76	4.70	4.60	4.45	4.24	3.98
15	4.78	4.78	4.75	4.69	4.59	4.44	4.22	3.91
16	4.79	4.79	4.77	4.72	4.63	4.50	4.29	3.89
17	4.84	4.84	4.82	4.78	4.72	4.64	4.56	4.56
18	4.90	4.91	4.89	4.87	4.83	4.79	4.75	4.75
19	4.99	4.99	4.98	4.97	4.95	4.93	4.92	4.91
20	5.08	5.09	5.08	5.08	5.07	5.07	5.06	5.06
21	5.19	5.19	5.19	5.20	5.20	5.21	5.21	5.21
22	5.29	5.29	5.30	5.31	5.33	5.35	5.37	5.36
23	5.40	5.40	5.41	5.43	5.46	5.50	5.54	5.54
24	5.49	5.49	5.51	5.53	5.58	5.64	5.76	6.00
25	5.58	5.58	5.60	5.62	5.67	5.74	5.85	6.00
26	5.66	5.66	5.67	5.70	5.75	5.81	5.90	6.00
27	5.72	5.72	5.73	5.76	5.80	5.86	5.92	6.00
28	5.77	5.78	5.79	5.81	5.84	5.89	5.94	6.00
29	5.82	5.82	5.83	5.85	5.88	5.91	5.95	6.00
30	5.85	5.86	5.86	5.88	5.90	5.93	5.96	6.00
31	5.88	5.88	5.89	5.90	5.92	5.95	5.97	6.00
32	5.91	5.91	5.91	5.92	5.94	5.96	5.98	6.00
33	5.93	5.93	5.93	5.94	5.95	5.97	5.98	6.00
34	5.94	5.94	5.95	5.95	5.96	5.97	5.99	6.00
35	5.96	5.96	5.96	5.96	5.97	5.98	5.99	6.00
36	5.97	5.97	5.97	5.97	5.98	5.98	5.99	6.00
37	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.99	5.99	6.00
38	5.98	5.99	5.99	5.99	5.99	5.99	6.00	6.00
39	5.99	5.99	5.99	5.99	6.00	6.00	6.00	6.00
40	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00

SIZMA AKIŞININ YATAY (U) HIZI , DEĞERLERİ ((M/S) * 10⁻⁵)

	2	3	4	5	6	7
2	0.26	0.26	0.26	0.27	0.27	0.27
3	0.26	0.26	0.26	0.27	0.27	0.28
4	0.25	0.25	0.26	0.27	0.28	0.29
5	0.24	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29
6	0.23	0.24	0.24	0.25	0.27	0.29
7	0.22	0.22	0.23	0.24	0.26	0.28
8	0.20	0.21	0.21	0.23	0.24	0.26
9	0.18	0.19	0.19	0.21	0.22	0.24
10	0.16	0.16	0.17	0.18	0.20	0.22
11	0.13	0.13	0.14	0.15	0.16	0.18
12	0.10	0.10	0.11	0.12	0.13	0.15
13	0.07	0.07	0.07	0.08	0.09	0.10
14	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05
15	0.00	-0.00	-0.01	-0.02	-0.03	-0.03
16	-0.03	-0.04	-0.05	-0.07	-0.10	-0.17
17	-0.06	-0.06	-0.08	-0.10	-0.14	-0.23
18	-0.08	-0.08	-0.09	-0.12	-0.14	-0.18
19	-0.09	-0.10	-0.11	-0.12	-0.14	-0.15
20	-0.10	-0.10	-0.11	-0.12	-0.14	-0.15
21	-0.10	-0.11	-0.12	-0.13	-0.14	-0.15
22	-0.10	-0.11	-0.12	-0.13	-0.14	-0.16
23	-0.10	-0.10	-0.11	-0.12	-0.15	-0.20
24	-0.09	-0.09	-0.10	-0.11	-0.12	-0.15
25	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.08	-0.07
26	-0.07	-0.07	-0.07	-0.06	-0.06	-0.04
27	-0.06	-0.06	-0.05	-0.05	-0.04	-0.02
28	-0.05	-0.05	-0.04	-0.04	-0.03	-0.02
29	-0.04	-0.04	-0.03	-0.03	-0.02	-0.01
30	-0.03	-0.03	-0.03	-0.02	-0.02	-0.01
31	-0.03	-0.03	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01
32	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01
33	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01	-0.00
34	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.00
35	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.00
36	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.00	-0.00
37	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.00	-0.00
38	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.00	-0.00
39	-0.01	-0.01	-0.01	-0.00	-0.00	-0.00

SIZMA AKIŞININ DÜŞEY (V) HIZI , DEĞERLERİ ((M/S) * 10⁻⁵)

	2	3	4	5	6	7
2	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00
3	-0.00	-0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.00
4	-0.00	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.01
5	-0.00	-0.01	-0.02	-0.02	-0.03	-0.03
6	-0.01	-0.02	-0.03	-0.04	-0.04	-0.05
7	-0.01	-0.02	-0.03	-0.05	-0.06	-0.07
8	-0.01	-0.03	-0.04	-0.06	-0.08	-0.10
9	-0.01	-0.03	-0.05	-0.07	-0.10	-0.12
10	-0.01	-0.04	-0.06	-0.09	-0.11	-0.14
11	-0.01	-0.04	-0.07	-0.10	-0.13	-0.17
12	-0.01	-0.04	-0.08	-0.11	-0.15	-0.19
13	-0.01	-0.05	-0.08	-0.12	-0.16	-0.21
14	-0.01	-0.05	-0.08	-0.13	-0.18	-0.23
15	-0.01	-0.05	-0.08	-0.12	-0.18	-0.26
16	-0.01	-0.04	-0.07	-0.11	-0.17	-0.31
17	-0.01	-0.03	-0.05	-0.07	-0.08	-0.04
18	-0.01	-0.02	-0.03	-0.04	-0.04	-0.02
19	-0.00	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01
20	0.00	-0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.00
21	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
22	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01
23	0.01	0.01	0.02	0.04	0.04	0.02
24	0.01	0.02	0.03	0.06	0.09	0.18
25	0.01	0.02	0.04	0.06	0.09	0.13
26	0.01	0.02	0.04	0.05	0.07	0.10
27	0.01	0.02	0.03	0.05	0.06	0.07
28	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06
29	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.04
30	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.03
31	0.00	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03
32	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
33	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
34	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
35	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
36	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

SIZMA AKIŞININ BİLEŞKE HIZ DEĞERLERİ ((M/S) * 10⁻⁵)

	2	3	4	5	6	7
2	0.26	0.26	0.26	0.27	0.27	0.27
3	0.26	0.26	0.26	0.27	0.27	0.28
4	0.25	0.25	0.26	0.27	0.28	0.29
5	0.24	0.25	0.25	0.26	0.28	0.29
6	0.23	0.24	0.25	0.26	0.27	0.29
7	0.22	0.23	0.23	0.25	0.26	0.29
8	0.20	0.21	0.22	0.23	0.25	0.28
9	0.18	0.19	0.20	0.22	0.24	0.27
10	0.16	0.17	0.18	0.20	0.23	0.26
11	0.13	0.14	0.16	0.18	0.21	0.25
12	0.10	0.11	0.13	0.16	0.20	0.24
13	0.07	0.08	0.11	0.14	0.19	0.23
14	0.04	0.06	0.09	0.13	0.18	0.24
15	0.01	0.05	0.08	0.13	0.19	0.27
16	0.03	0.05	0.08	0.13	0.20	0.35
17	0.06	0.07	0.09	0.12	0.16	0.24
18	0.08	0.08	0.10	0.12	0.15	0.18
19	0.09	0.10	0.11	0.12	0.14	0.15
20	0.10	0.10	0.11	0.13	0.14	0.15
21	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15
22	0.10	0.11	0.12	0.13	0.15	0.16
23	0.10	0.10	0.11	0.13	0.15	0.20
24	0.09	0.10	0.10	0.12	0.15	0.24
25	0.08	0.09	0.09	0.10	0.12	0.15
26	0.07	0.07	0.08	0.08	0.09	0.10
27	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.08
28	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06
29	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05
30	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04
31	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
32	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
33	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
34	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
35	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
36	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
37	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
38	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
39	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00

SIZMA AKIŞININ YATAYLA YAPTIĞI AÇININ DEĞERLERİ (DERECE)

	2	3	4	5	6	7
2	359.85	359.55	359.35	359.33	359.67	0.80
3	359.67	359.00	358.49	358.27	358.54	359.61
4	359.44	358.29	357.33	356.71	356.59	357.15
5	359.14	357.36	355.80	354.61	353.91	353.82
6	358.76	356.19	353.87	351.96	350.58	349.79
7	358.28	354.72	351.48	348.73	346.59	345.12
8	357.67	352.89	348.53	344.82	341.88	339.76
9	356.90	350.54	344.81	340.02	336.28	333.59
10	355.85	347.43	340.02	334.01	329.53	326.46
11	354.37	343.08	333.55	326.28	321.24	318.11
12	352.04	336.52	324.42	316.04	310.87	308.26
13	347.74	325.57	310.92	302.25	297.78	296.54
14	336.64	304.90	290.83	284.05	281.38	282.39
15	273.37	92.90	95.99	98.02	98.43	95.45
16	158.86	132.34	123.91	121.65	121.10	119.12
17	171.36	155.18	146.92	145.50	151.25	170.05
18	176.03	167.12	161.85	161.02	165.05	174.25
19	178.47	173.92	171.11	170.65	172.77	177.02
20	180.01	178.32	177.30	177.16	177.87	178.95
21	181.17	181.70	182.19	182.48	182.17	180.64
22	182.24	184.85	187.01	188.17	187.27	182.75
23	183.35	188.22	192.63	195.85	195.80	186.14
24	184.49	191.81	199.20	207.07	216.45	229.08
25	185.51	194.90	204.55	214.89	226.74	241.83
26	186.32	197.29	208.46	220.20	233.18	248.77
27	186.93	199.01	211.20	223.76	237.21	252.36
28	187.37	200.21	213.04	226.08	239.68	254.26
29	187.67	200.99	214.23	227.53	241.14	255.29
30	187.86	201.44	214.91	228.36	241.95	255.83
31	187.95	201.61	215.17	228.69	242.29	256.06
32	187.93	201.50	215.03	228.57	242.22	256.03
33	187.79	201.07	214.43	227.95	241.72	255.76
34	187.48	200.24	213.25	226.69	240.66	255.15
35	186.97	198.88	211.29	224.52	238.77	254.04
36	186.19	196.82	208.24	220.99	235.56	252.08
37	185.09	193.91	203.75	215.44	230.06	248.45
38	183.65	190.05	197.47	206.98	220.51	241.10
39	181.92	185.30	189.36	194.93	204.11	223.51

SIZMA AKIŞININ POTANSİYEL FONKSİYON DEĞERLERİ (T/M²)

BEŞİNCİ DURUM (DALGANIN ZA = 4 DEKİ DURUMU)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	6.63	6.63	6.63	6.63	6.63	6.63	6.63	6.63
2	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50
3	6.37	6.37	6.37	6.37	6.37	6.36	6.36	6.36
4	6.24	6.24	6.24	6.24	6.23	6.22	6.22	6.21
5	6.12	6.12	6.11	6.11	6.10	6.08	6.07	6.06
6	5.99	5.99	5.99	5.98	5.97	5.95	5.93	5.90
7	5.88	5.88	5.87	5.86	5.84	5.82	5.78	5.75
8	5.77	5.77	5.76	5.75	5.72	5.69	5.65	5.60
9	5.67	5.67	5.66	5.64	5.61	5.57	5.52	5.46
10	5.58	5.58	5.57	5.55	5.51	5.47	5.41	5.33
11	5.50	5.50	5.49	5.47	5.43	5.37	5.30	5.22
12	5.44	5.44	5.43	5.40	5.36	5.30	5.22	5.12
13	5.40	5.40	5.38	5.35	5.31	5.24	5.15	5.04
14	5.37	5.37	5.35	5.32	5.28	5.21	5.11	4.99
15	5.35	5.36	5.34	5.32	5.27	5.20	5.10	4.95
16	5.36	5.36	5.35	5.33	5.29	5.23	5.13	4.94
17	5.38	5.38	5.37	5.35	5.33	5.29	5.26	5.25
18	5.41	5.41	5.41	5.40	5.38	5.36	5.35	5.34
19	5.45	5.45	5.45	5.45	5.44	5.43	5.42	5.42
20	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.49
21	5.55	5.55	5.56	5.56	5.56	5.57	5.57	5.57
22	5.61	5.61	5.61	5.62	5.63	5.64	5.65	5.65
23	5.66	5.66	5.67	5.68	5.70	5.72	5.75	5.74
24	5.71	5.71	5.72	5.74	5.76	5.80	5.87	6.00
25	5.76	5.76	5.77	5.79	5.81	5.86	5.92	6.00
26	5.80	5.80	5.81	5.83	5.85	5.89	5.94	6.00
27	5.84	5.84	5.85	5.86	5.88	5.92	5.96	6.00
28	5.87	5.87	5.87	5.89	5.91	5.93	5.97	6.00
29	5.89	5.89	5.90	5.91	5.93	5.95	5.97	6.00
30	5.91	5.91	5.92	5.93	5.94	5.96	5.98	6.00
31	5.93	5.93	5.93	5.94	5.95	5.97	5.98	6.00
32	5.94	5.94	5.95	5.95	5.96	5.97	5.99	6.00
33	5.95	5.95	5.96	5.96	5.97	5.98	5.99	6.00
34	5.96	5.96	5.97	5.97	5.98	5.98	5.99	6.00
35	5.97	5.97	5.97	5.98	5.98	5.99	5.99	6.00
36	5.98	5.98	5.98	5.98	5.99	5.99	6.00	6.00
37	5.98	5.98	5.99	5.99	5.99	5.99	6.00	6.00
38	5.99	5.99	5.99	5.99	5.99	6.00	6.00	6.00
39	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
40	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00

SIZMA AKIŞININ YATAY (U) HIZI , DEĞERLERİ ((M/S) * 10⁻⁵)

	2	3	4	5	6	7
2	0.13	0.13	0.13	0.13	0.14	0.14
3	0.13	0.13	0.13	0.13	0.14	0.14
4	0.13	0.13	0.13	0.13	0.14	0.14
5	0.12	0.13	0.13	0.13	0.14	0.15
6	0.12	0.12	0.12	0.13	0.13	0.14
7	0.11	0.11	0.12	0.12	0.13	0.14
8	0.10	0.11	0.11	0.11	0.12	0.13
9	0.09	0.10	0.10	0.10	0.11	0.12
10	0.08	0.08	0.09	0.09	0.10	0.11
11	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.09
12	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07
13	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05
14	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03
15	0.00	0.00	-0.00	-0.01	-0.01	-0.01
16	-0.01	-0.01	-0.02	-0.03	-0.05	-0.08
17	-0.03	-0.03	-0.03	-0.05	-0.07	-0.11
18	-0.04	-0.04	-0.05	-0.05	-0.07	-0.08
19	-0.04	-0.05	-0.05	-0.06	-0.07	-0.08
20	-0.05	-0.05	-0.06	-0.06	-0.07	-0.07
21	-0.05	-0.06	-0.06	-0.07	-0.07	-0.08
22	-0.05	-0.06	-0.06	-0.07	-0.08	-0.09
23	-0.05	-0.05	-0.06	-0.07	-0.08	-0.11
24	-0.05	-0.05	-0.05	-0.06	-0.07	-0.08
25	-0.04	-0.04	-0.05	-0.05	-0.05	-0.04
26	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	-0.03	-0.02
27	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03	-0.02	-0.01
28	-0.03	-0.03	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01
29	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01
30	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01	-0.00
31	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.00
32	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.00
33	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.00	-0.00
34	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.00	-0.00
35	-0.01	-0.01	-0.01	-0.00	-0.00	-0.00
36	-0.01	-0.01	-0.01	-0.00	-0.00	-0.00
37	-0.01	-0.01	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
38	-0.01	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
39	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00

SIZMA AKIŞININ DÜŞEY (V) HIZI , DEĞERLERİ ((M/S) * 10⁻⁵)

	2	3	4	5	6	7
2	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00
3	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
4	-0.00	-0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
5	-0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
6	-0.00	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02
7	-0.00	-0.01	-0.02	-0.02	-0.03	-0.03
8	-0.00	-0.01	-0.02	-0.03	-0.04	-0.05
9	-0.00	-0.01	-0.02	-0.03	-0.05	-0.06
10	-0.00	-0.02	-0.03	-0.04	-0.05	-0.07
11	-0.01	-0.02	-0.03	-0.05	-0.06	-0.08
12	-0.01	-0.02	-0.04	-0.05	-0.07	-0.09
13	-0.01	-0.02	-0.04	-0.06	-0.08	-0.10
14	-0.01	-0.02	-0.04	-0.06	-0.08	-0.11
15	-0.01	-0.02	-0.04	-0.06	-0.09	-0.12
16	-0.00	-0.02	-0.03	-0.05	-0.08	-0.14
17	-0.00	-0.01	-0.02	-0.03	-0.04	-0.02
18	-0.00	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.01
19	-0.00	-0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.00
20	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
23	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01
24	0.00	0.01	0.02	0.03	0.05	0.10
25	0.01	0.01	0.02	0.03	0.05	0.07
26	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
27	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.04
28	0.00	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03
29	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03
30	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
31	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
32	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
33	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
34	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
35	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

SIZMA AKIŞININ BİLEŞKE HIZ DEĞERLERİ ((M/S) * 10⁻⁵)

	2	3	4	5	6	7
2	0.13	0.13	0.13	0.13	0.14	0.14
3	0.13	0.13	0.13	0.13	0.14	0.14
4	0.13	0.13	0.13	0.13	0.14	0.14
5	0.12	0.13	0.13	0.13	0.14	0.15
6	0.12	0.12	0.12	0.13	0.14	0.15
7	0.11	0.11	0.12	0.12	0.13	0.14
8	0.10	0.11	0.11	0.12	0.13	0.14
9	0.09	0.10	0.10	0.11	0.12	0.13
10	0.08	0.09	0.09	0.10	0.11	0.13
11	0.07	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12
12	0.05	0.06	0.07	0.08	0.10	0.12
13	0.04	0.04	0.05	0.07	0.09	0.11
14	0.02	0.03	0.04	0.06	0.08	0.11
15	0.01	0.02	0.04	0.06	0.09	0.12
16	0.01	0.02	0.04	0.06	0.09	0.16
17	0.03	0.03	0.04	0.06	0.08	0.11
18	0.04	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08
19	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08
20	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07
21	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07	0.08
22	0.05	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09
23	0.05	0.06	0.06	0.07	0.08	0.11
24	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08	0.13
25	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08
26	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06
27	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04
28	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
29	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03
30	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
31	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
32	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
33	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
34	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
35	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
36	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
37	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
38	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

SIZMA AKIŞININ YATAYLA YAPTIĞI AÇININ DEĞERLERİ (DERECE)

	2	3	4	5	6	7
2	359.89	359.63	359.46	359.46	359.82	0.96
3	359.75	359.16	358.72	358.55	358.85	359.92
4	359.55	358.54	357.68	357.13	357.05	357.61
5	359.30	357.71	356.30	355.20	354.54	354.44
6	358.97	356.65	354.53	352.74	351.40	350.58
7	358.56	355.34	352.34	349.73	347.63	346.10
8	358.05	353.70	349.65	346.09	343.17	340.94
9	357.40	351.62	346.28	341.64	337.87	335.01
10	356.54	348.89	341.95	336.08	331.47	328.11
11	355.35	345.15	336.15	328.90	323.56	319.98
12	353.56	339.59	327.96	319.31	313.55	310.27
13	350.44	330.44	315.70	306.11	300.65	298.54
14	343.17	312.94	296.61	287.98	284.03	284.11
15	303.52	276.28	91.18	95.10	96.59	94.31
16	159.05	130.22	122.30	120.57	120.40	118.73
17	173.15	156.47	147.77	146.04	151.54	170.00
18	177.64	168.97	163.56	162.34	165.87	174.28
19	179.87	175.72	172.95	172.19	173.78	177.10
20	181.25	179.98	179.07	178.71	178.92	179.05
21	182.30	183.25	183.89	184.00	183.22	180.78
22	183.30	186.35	188.68	189.69	188.32	182.93
23	184.38	189.72	194.33	197.42	196.91	186.36
24	185.51	193.33	200.96	208.72	217.68	229.67
25	186.54	196.46	206.34	216.59	228.05	242.58
26	187.36	198.87	210.28	221.94	234.54	249.54
27	187.98	200.62	213.04	225.51	238.58	253.13
28	188.44	201.82	214.90	227.84	241.04	255.01
29	188.76	202.61	216.08	229.28	242.49	256.02
30	188.95	203.05	216.74	230.08	243.27	256.54
31	189.03	203.18	216.95	230.36	243.57	256.74
32	188.99	203.00	216.71	230.16	243.44	256.69
33	188.79	202.45	215.98	229.42	242.85	256.37
34	188.40	201.46	214.61	227.99	241.68	255.70
35	187.77	199.89	212.41	225.61	239.64	254.52
36	186.84	197.60	209.10	221.83	236.25	252.47
37	185.58	194.45	204.32	216.01	230.55	248.75
38	183.98	190.38	197.79	207.30	220.80	241.30
39	182.08	185.45	189.50	195.07	204.23	223.61

SIZMA AKIŞININ POTANSİYEL FONKSİYON DEĞERLERİ (T/M²)

ALTINCI DURUM (DALGANIN ZA = 5 DEKİ DURUMU)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	5.37	5.37	5.37	5.37	5.37	5.37	5.37	5.37
2	5.49	5.49	5.49	5.49	5.50	5.50	5.50	5.50
3	5.61	5.61	5.62	5.62	5.63	5.63	5.64	5.64
4	5.74	5.74	5.74	5.75	5.76	5.77	5.78	5.79
5	5.85	5.85	5.86	5.87	5.88	5.90	5.92	5.94
6	5.97	5.97	5.98	5.99	6.01	6.04	6.07	6.10
7	6.08	6.08	6.09	6.11	6.13	6.17	6.21	6.25
8	6.18	6.18	6.19	6.21	6.24	6.29	6.34	6.40
9	6.27	6.27	6.28	6.31	6.35	6.40	6.46	6.54
10	6.35	6.35	6.36	6.39	6.44	6.50	6.58	6.67
11	6.41	6.41	6.43	6.47	6.52	6.59	6.68	6.78
12	6.46	6.46	6.48	6.52	6.58	6.66	6.76	6.88
13	6.50	6.50	6.52	6.56	6.62	6.71	6.82	6.96
14	6.51	6.51	6.53	6.58	6.64	6.73	6.86	7.01
15	6.51	6.51	6.53	6.57	6.63	6.73	6.86	7.05
16	6.49	6.49	6.51	6.55	6.60	6.68	6.81	7.06
17	6.46	6.46	6.48	6.50	6.54	6.59	6.64	6.64
18	6.42	6.42	6.43	6.45	6.48	6.50	6.53	6.53
19	6.37	6.37	6.38	6.39	6.41	6.43	6.44	6.44
20	6.32	6.33	6.33	6.34	6.35	6.35	6.36	6.36
21	6.28	6.28	6.28	6.28	6.29	6.29	6.29	6.29
22	6.23	6.23	6.23	6.23	6.23	6.23	6.22	6.22
23	6.19	6.19	6.19	6.19	6.18	6.17	6.16	6.16
24	6.15	6.15	6.15	6.14	6.13	6.12	6.08	6.00
25	6.12	6.12	6.12	6.11	6.10	6.08	6.05	6.00
26	6.09	6.09	6.09	6.08	6.07	6.05	6.03	6.00
27	6.07	6.07	6.07	6.06	6.05	6.04	6.02	6.00
28	6.05	6.05	6.05	6.04	6.04	6.03	6.01	6.00
29	6.04	6.04	6.04	6.03	6.03	6.02	6.01	6.00
30	6.03	6.03	6.03	6.02	6.02	6.01	6.01	6.00
31	6.02	6.02	6.02	6.02	6.01	6.01	6.01	6.00
32	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01	6.00	6.00
33	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01	6.00	6.00	6.00
34	6.01	6.01	6.01	6.01	6.00	6.00	6.00	6.00
35	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
36	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
37	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
38	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
39	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
40	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00

SIZMA AKIŞININ YATAY (U) HIZI , DEĞERLERİ ((M/S) * 10⁻⁵)

	2	3	4	5	6	7
2	-0.12	-0.13	-0.13	-0.13	-0.13	-0.14
3	-0.12	-0.12	-0.13	-0.13	-0.13	-0.14
4	-0.12	-0.12	-0.13	-0.13	-0.14	-0.14
5	-0.12	-0.12	-0.12	-0.13	-0.13	-0.14
6	-0.11	-0.11	-0.12	-0.12	-0.13	-0.14
7	-0.10	-0.11	-0.11	-0.12	-0.13	-0.14
8	-0.10	-0.10	-0.10	-0.11	-0.12	-0.13
9	-0.08	-0.09	-0.09	-0.10	-0.11	-0.12
10	-0.07	-0.07	-0.08	-0.08	-0.09	-0.11
11	-0.06	-0.06	-0.06	-0.07	-0.08	-0.09
12	-0.04	-0.04	-0.05	-0.05	-0.06	-0.07
13	-0.02	-0.03	-0.03	-0.03	-0.04	-0.05
14	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02
15	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.02
16	0.02	0.03	0.03	0.05	0.07	0.11
17	0.04	0.04	0.05	0.06	0.09	0.14
18	0.04	0.05	0.05	0.07	0.08	0.10
19	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.08
20	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07
21	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07
22	0.04	0.05	0.05	0.05	0.06	0.07
23	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.07
24	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06
25	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02
26	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01
27	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
28	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
29	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
30	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
31	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

SIZMA AKIŞININ DÜŞEY (V) HIZI , DEĞERLERİ ((M/S) * 10⁻⁵)

	2	3	4	5	6	7
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
4	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
5	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
6	0.00	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03
7	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.04
8	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06
9	0.01	0.02	0.03	0.05	0.06	0.07
10	0.01	0.02	0.04	0.05	0.07	0.08
11	0.01	0.03	0.04	0.06	0.08	0.10
12	0.01	0.03	0.05	0.07	0.09	0.11
13	0.01	0.03	0.05	0.07	0.10	0.12
14	0.01	0.03	0.05	0.08	0.11	0.14
15	0.01	0.03	0.05	0.08	0.11	0.16
16	0.01	0.03	0.04	0.07	0.10	0.19
17	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.02
18	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.01
19	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00
20	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00
22	0.00	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
23	0.00	-0.00	-0.00	-0.01	-0.01	-0.01
24	-0.00	-0.00	-0.01	-0.01	-0.03	-0.06
25	-0.00	-0.00	-0.01	-0.02	-0.03	-0.04
26	-0.00	-0.00	-0.01	-0.01	-0.02	-0.03
27	-0.00	-0.00	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02
28	-0.00	-0.00	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
29	-0.00	-0.00	-0.00	-0.01	-0.01	-0.01
30	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.01	-0.01
31	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
32	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
33	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
34	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
35	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
36	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
37	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
38	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
39	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00

SIZMA AKIŞININ BİLEŞKE HIZ DEĞERLERİ ((M/S) * 10⁻⁵)

	2	3	4	5	6	7
2	0.12	0.13	0.13	0.13	0.13	0.14
3	0.12	0.12	0.13	0.13	0.13	0.14
4	0.12	0.12	0.13	0.13	0.14	0.14
5	0.12	0.12	0.12	0.13	0.14	0.14
6	0.11	0.11	0.12	0.13	0.13	0.15
7	0.10	0.11	0.11	0.12	0.13	0.14
8	0.10	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14
9	0.09	0.09	0.10	0.11	0.12	0.14
10	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12	0.13
11	0.06	0.07	0.08	0.09	0.11	0.13
12	0.04	0.05	0.07	0.09	0.11	0.13
13	0.03	0.04	0.06	0.08	0.11	0.13
14	0.01	0.03	0.05	0.08	0.11	0.14
15	0.01	0.03	0.05	0.08	0.12	0.16
16	0.03	0.04	0.06	0.08	0.12	0.22
17	0.04	0.04	0.06	0.08	0.10	0.14
18	0.04	0.05	0.06	0.07	0.09	0.10
19	0.05	0.05	0.06	0.07	0.08	0.08
20	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07
21	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07
22	0.04	0.05	0.05	0.05	0.06	0.07
23	0.04	0.04	0.04	0.05	0.06	0.07
24	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.08
25	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05
26	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
27	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
28	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
29	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
30	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
31	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

SIZMA AKIŞININ YATAYLA YAPTIĞI AÇININ DEĞERLERİ (DERECE)

	2	3	4	5	6	7
2	180.27	180.70	181.01	181.10	180.79	179.67
3	180.57	181.50	182.23	182.59	182.39	181.33
4	180.93	182.50	183.79	184.62	184.83	184.26
5	181.38	183.75	185.76	187.23	188.03	188.07
6	181.94	185.31	188.21	190.46	191.93	192.60
7	182.65	187.26	191.25	194.38	196.56	197.82
8	183.57	189.74	195.03	199.14	202.02	203.77
9	184.79	193.00	199.83	204.97	208.46	210.54
10	186.51	197.45	206.11	212.24	216.13	218.26
11	189.16	203.90	214.59	221.45	225.33	227.07
12	193.78	213.94	226.34	233.16	236.37	237.11
13	203.88	230.67	242.53	247.82	249.51	248.54
14	237.46	257.85	263.27	265.24	264.90	261.78
15	47.80	69.36	74.02	75.67	77.43	81.91
16	21.40	43.91	52.90	56.05	57.35	59.98
17	12.39	27.52	34.90	35.70	29.43	9.84
18	7.98	17.43	22.31	22.22	16.95	5.85
19	5.45	11.06	13.94	13.57	9.98	3.20
20	3.83	6.78	8.13	7.59	5.34	1.36
21	2.67	3.57	3.59	2.73	1.45	359.82
22	1.69	0.72	359.27	357.64	356.85	357.96
23	0.75	357.80	354.36	350.80	349.04	354.86
24	359.84	354.79	348.63	340.61	329.48	313.82
25	359.11	352.26	344.05	333.63	320.09	302.15
26	358.62	350.46	340.89	329.14	314.45	295.72
27	358.40	349.35	338.94	326.43	311.17	292.48
28	358.41	348.84	337.93	325.01	309.46	290.94
29	358.63	348.79	337.66	324.52	308.81	290.34
30	359.02	349.12	337.93	324.72	308.88	290.29
31	359.58	349.75	338.62	325.42	309.47	290.60
32	0.28	350.63	339.66	326.53	310.45	291.18
33	1.15	351.72	340.95	327.94	311.74	291.96
34	2.16	352.99	342.46	329.61	313.30	292.94
35	3.31	354.39	344.14	331.51	315.13	294.13
36	4.52	355.89	345.99	333.70	317.39	295.66
37	5.52	357.36	348.10	336.53	320.67	298.18
38	5.62	358.60	350.82	340.99	326.71	303.68
39	3.73	359.40	354.75	348.77	339.23	319.08

SIZMA AKIŞININ POTANSİYEL FONKSİYON DEĞERLERİ (T/M²)

YEDİNCİ DURUM (DALGANIN ZA = 1.5 DEKİ DURUMU)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
2	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
3	5.99	5.99	5.99	5.99	6.00	6.00	6.00	6.00
4	5.99	5.99	5.99	5.99	5.99	6.00	6.00	6.00
5	5.99	5.99	5.99	5.99	5.99	5.99	6.00	6.00
6	5.98	5.98	5.98	5.99	5.99	5.99	6.00	6.00
7	5.98	5.98	5.98	5.98	5.99	5.99	5.99	6.00
8	5.97	5.97	5.98	5.98	5.98	5.99	5.99	6.00
9	5.97	5.97	5.97	5.97	5.98	5.99	5.99	6.00
10	5.96	5.96	5.97	5.97	5.98	5.98	5.99	6.00
11	5.96	5.96	5.96	5.97	5.97	5.98	5.99	6.00
12	5.95	5.95	5.95	5.96	5.97	5.98	5.99	6.00
13	5.94	5.95	5.95	5.95	5.96	5.97	5.99	6.00
14	5.94	5.94	5.94	5.95	5.96	5.97	5.98	6.00
15	5.93	5.93	5.94	5.94	5.95	5.96	5.98	6.00
16	5.92	5.92	5.93	5.93	5.94	5.95	5.97	6.00
17	5.92	5.92	5.92	5.93	5.93	5.94	5.95	5.95
18	5.91	5.91	5.92	5.92	5.93	5.93	5.93	5.93
19	5.91	5.91	5.91	5.92	5.92	5.93	5.93	5.93
20	5.91	5.91	5.91	5.92	5.92	5.92	5.93	5.92
21	5.91	5.91	5.92	5.92	5.92	5.93	5.93	5.93
22	5.92	5.92	5.92	5.92	5.93	5.93	5.94	5.94
23	5.92	5.92	5.93	5.93	5.94	5.94	5.95	5.95
24	5.93	5.93	5.93	5.94	5.95	5.96	5.97	6.00
25	5.94	5.94	5.94	5.95	5.95	5.97	5.98	6.00
26	5.94	5.94	5.95	5.95	5.96	5.97	5.99	6.00
27	5.95	5.95	5.95	5.96	5.97	5.98	5.99	6.00
28	5.96	5.96	5.96	5.97	5.97	5.98	5.99	6.00
29	5.96	5.96	5.97	5.97	5.98	5.98	5.99	6.00
30	5.97	5.97	5.97	5.97	5.98	5.99	5.99	6.00
31	5.97	5.97	5.98	5.98	5.98	5.99	5.99	6.00
32	5.98	5.98	5.98	5.98	5.99	5.99	5.99	6.00
33	5.98	5.98	5.98	5.98	5.99	5.99	6.00	6.00
34	5.98	5.98	5.99	5.99	5.99	5.99	6.00	6.00
35	5.99	5.99	5.99	5.99	5.99	5.99	6.00	6.00
36	5.99	5.99	5.99	5.99	5.99	6.00	6.00	6.00
37	5.99	5.99	5.99	5.99	6.00	6.00	6.00	6.00
38	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
39	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
40	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00

SIZMA AKIŞININ YATAY (U) HIZI , DEĞERLERİ ((M/S) * 10⁻⁵)

	2	3	4	5	6	7
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
11	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
12	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
13	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
14	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
15	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
16	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
17	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
18	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
21	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.01
22	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
23	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02
24	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.02
25	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
26	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.00
27	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.00	-0.00
28	-0.01	-0.01	-0.01	-0.00	-0.00	-0.00
29	-0.01	-0.01	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
30	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
31	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
32	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
33	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
34	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
35	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
36	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
37	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
38	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00
39	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00

SIZMA AKIŞININ DÜŞEY (V) HIZI , DEĞERLERİ (M/S) * 10⁻⁵)

	2	3	4	5	6	7
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
9	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
10	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
11	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
12	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
13	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
14	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
15	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
16	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02
17	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00
18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00
24	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02
25	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02
26	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
27	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
28	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
29	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
30	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

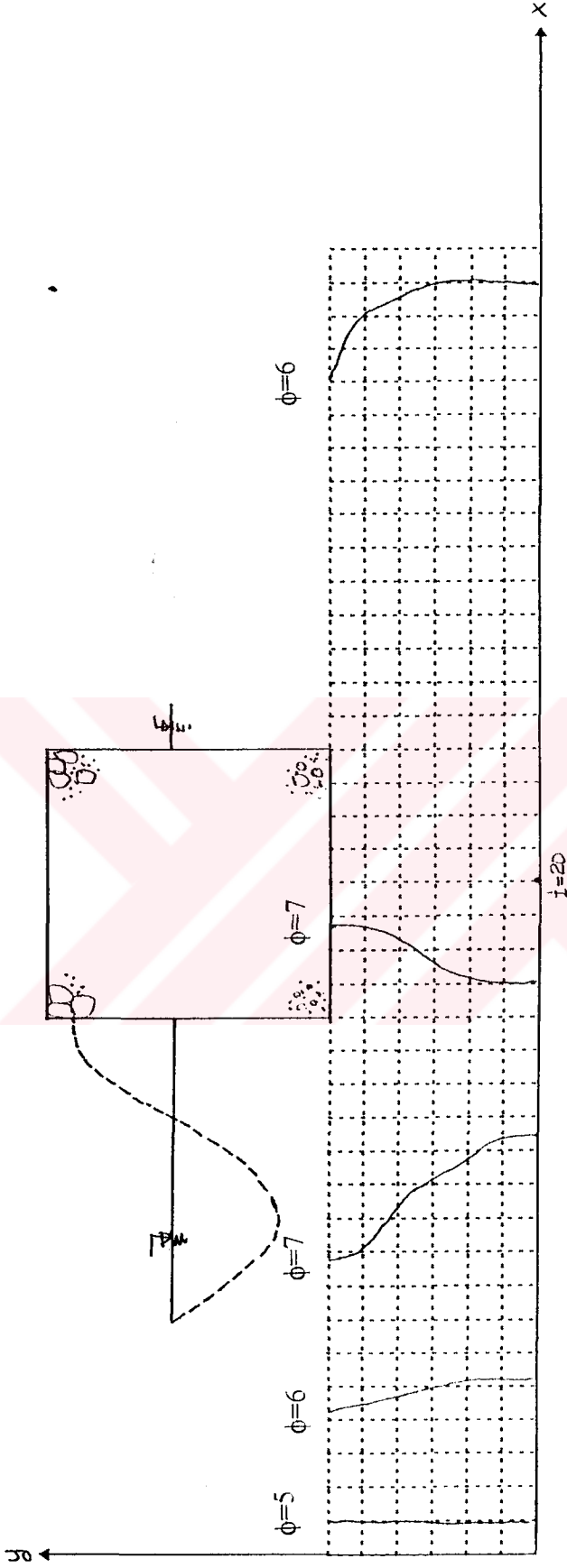
SIZMA AKIŞININ BİLEŞKE HIZ DEĞERLERİ ((M/S) * 10⁻⁵)

	2	3	4	5	6	7
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
8	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
9	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
10	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
11	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
12	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
13	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
14	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
15	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
16	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03
17	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
18	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
22	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
23	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
24	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03
25	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
26	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
27	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
28	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
29	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
30	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
31	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

SIZMA AKIŞININ YATAYLA YAPTIĞI AÇININ DEĞERLERİ (DERECE)

	2	3	4	5	6	7
2	2.66	6.06	10.15	15.80	25.08	44.50
3	5.28	11.90	19.57	29.31	42.89	62.86
4	7.74	17.24	27.63	39.58	53.82	70.80
5	10.00	21.91	34.14	46.95	60.54	74.95
6	11.99	25.84	39.21	52.17	64.84	77.39
7	13.71	29.04	43.08	55.85	67.67	78.93
8	15.15	31.60	45.96	58.44	69.57	79.92
9	16.33	33.58	48.06	60.21	70.80	80.54
10	17.30	35.06	49.49	61.30	71.48	80.85
11	18.08	36.08	50.32	61.77	71.63	80.84
12	18.71	36.68	50.55	61.55	71.11	80.37
13	19.25	36.87	50.11	60.45	69.61	79.10
14	19.79	36.66	48.87	58.16	66.54	76.19
15	20.50	36.14	46.76	54.27	60.94	69.74
16	21.82	35.68	43.89	48.33	51.34	56.14
17	24.85	36.57	41.45	40.39	32.29	9.34
18	32.72	42.61	44.66	40.12	28.64	6.41
19	55.68	62.16	61.51	54.84	40.07	5.86
20	250.67	256.22	258.48	258.63	255.54	201.66
21	216.23	225.26	227.48	223.28	211.56	184.56
22	204.58	214.02	217.38	214.69	205.35	185.79
23	200.20	211.02	216.57	216.77	210.15	188.94
24	198.52	211.33	219.90	225.26	229.32	235.08
25	197.86	212.39	223.20	231.45	239.02	248.71
26	197.54	213.31	225.60	235.53	244.72	255.24
27	197.30	213.85	227.09	237.98	247.89	258.21
28	197.03	213.99	227.81	239.27	249.51	259.55
29	196.68	213.76	227.91	239.74	250.19	260.10
30	196.21	213.18	227.49	239.59	250.26	260.22
31	195.60	212.25	226.59	238.92	249.87	260.06
32	194.82	210.94	225.20	237.75	249.05	259.65
33	193.84	209.21	223.24	235.99	247.77	258.97
34	192.63	206.97	220.58	233.49	245.86	257.95
35	191.17	204.14	217.04	229.98	243.07	256.40
36	189.43	200.66	212.41	225.06	238.88	253.95
37	187.40	196.45	206.43	218.12	232.37	249.83
38	185.12	191.51	198.95	208.45	221.84	241.99
39	182.63	185.96	189.99	195.53	204.67	223.97

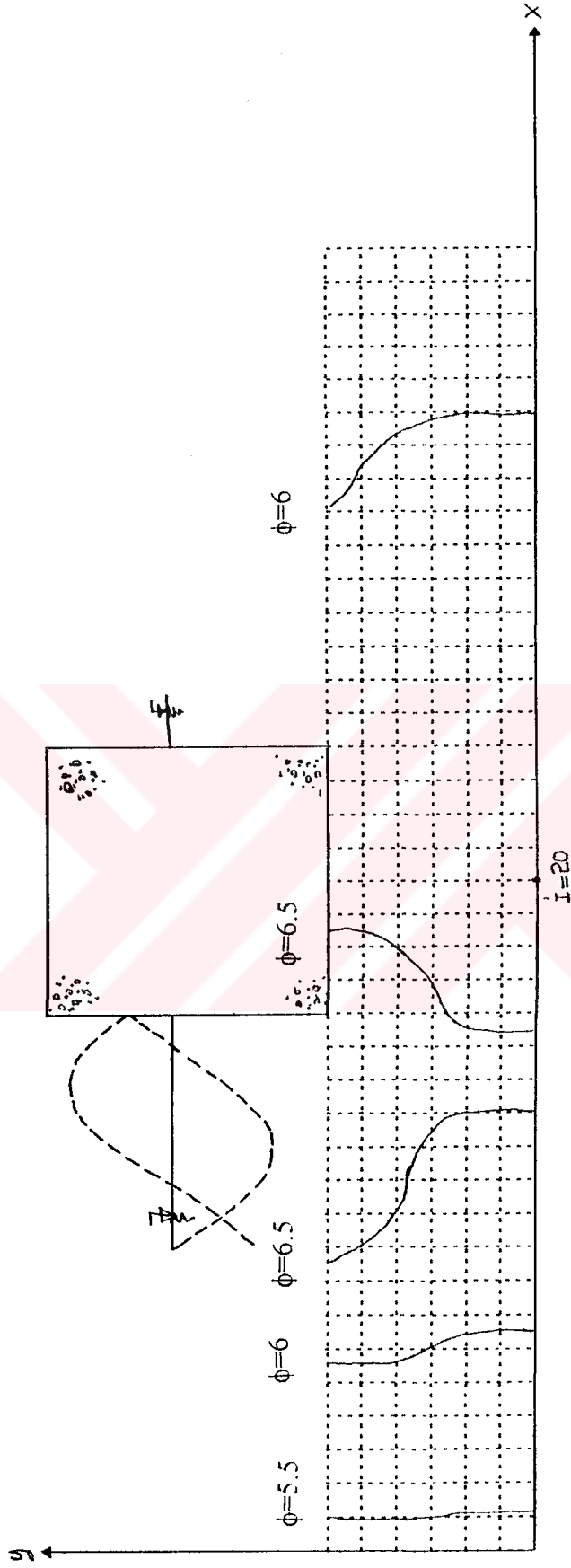
POTANSİYEL FONKSİYON EĞRİLERİ
(BİRİNCİ DURUM İÇİN)



PERMEABİLİTE KATSAYISI $K = .00001$
DEBİ $(M^3/S/M) = 7.189262E-06$
ITER= 253
ZA = 0 VE ZA = 6

Şekil 4.2. ZA = 0 ve ZA = 6 anındaki dalganın potansiyel fonksiyon eğrileri

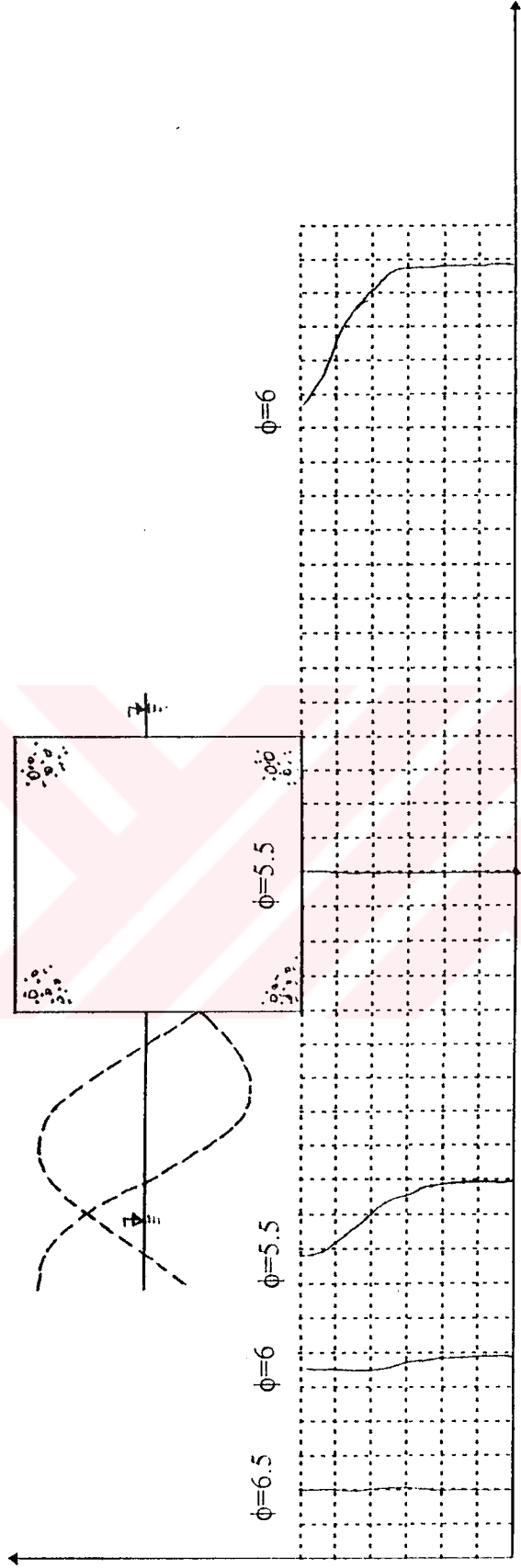
POTANSİYEL FONKSİYON EĞRİLERİ
(İKİNCİ VE ALTINCI DURUMLAR İÇİN)



PERMEABİLİTE KATSAYISI $K = .00001$
DEBİ ($M^3/S/M$) = 3.573382E-06
ITER= 250
ZA = 1 ve ZA = 5

Şekil 4.3. ZA = 1 ve ZA = 5 anındaki dalgaının potansiyel fonksiyon eğrileri

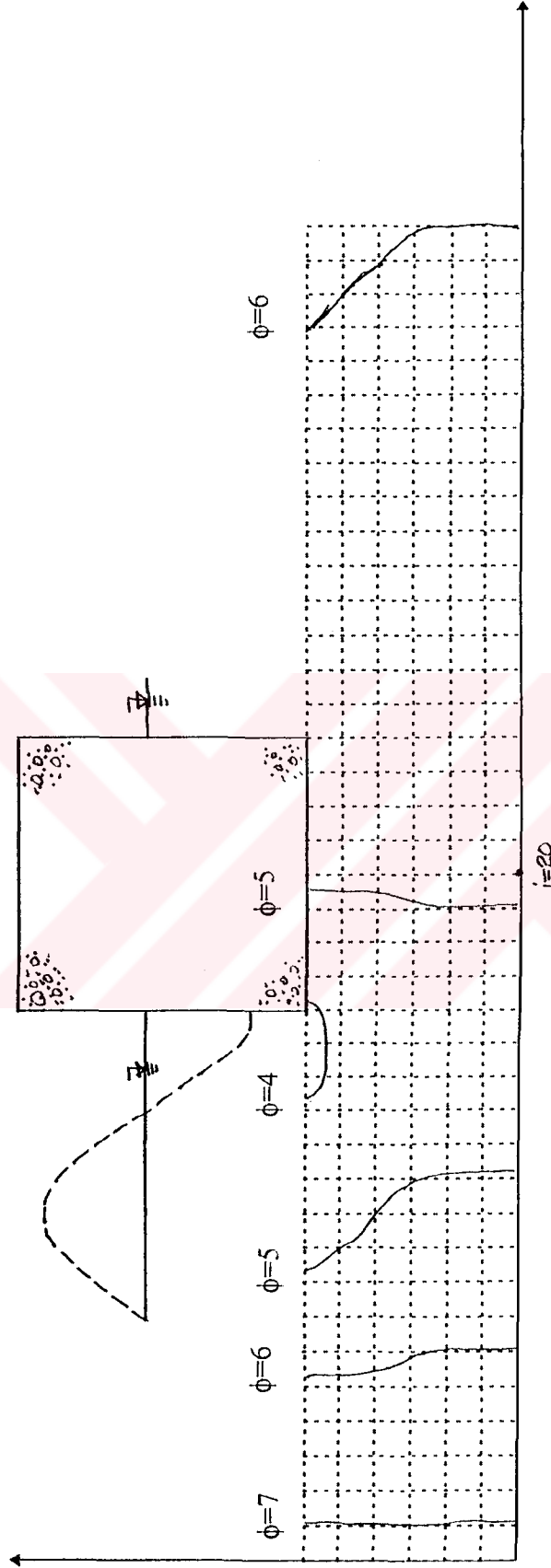
POTANSİYEL FONKSİYON EĞRİLERİ
(ÜÇÜNCÜ VE BEŞİNCİ DURUMLAR İÇİN)



PERMEABİLİTE KATSAYISI $K = .00001$
 DEBİ $(M^3/S/M) = 3.6571E-06$
 İTER= 245
 ZA = 2 VE ZA = 4

Şekil 4.4. ZA = 2 ve ZA = 4 anındaki dalgalan potansiyel fonksiyon eğrileri

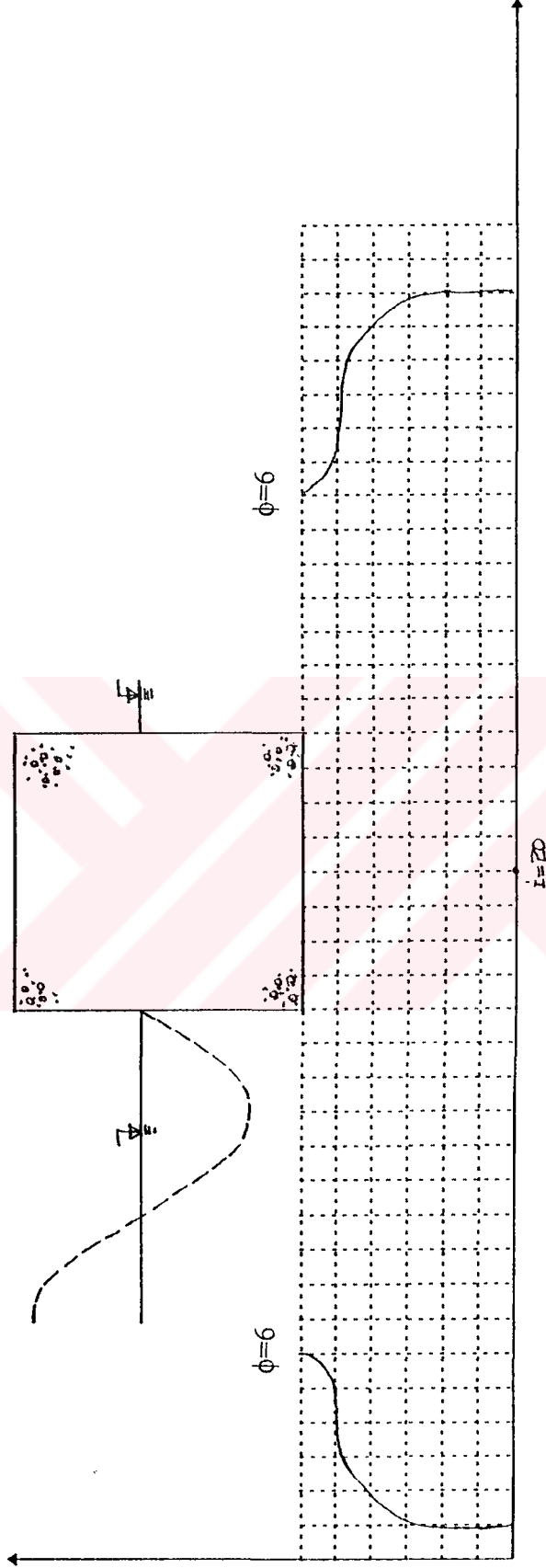
POTANSİYEL FONKSİYON EĞRİLERİ
(DÖRDÜNCÜ DURUM İÇİN)



PERMEABİLİTE KATSAYISI $K = .00001$
DEBİ (M³/S/M) = 7.272477E-06
ITER= 242
ZA = 3

Şekil 4.5. ZA = 3 anındaki dalgalan potansiyel fonksiyon eğrileri

POTANSİYEL FONKSİYON EĞRİLERİ
(YEDİNCİ DURUM İÇİN)



PERMEABİLİTE KATSAYISI $K = .00001$
DEBİ $(M^3/S/M) = 4.312277E-08$
ITER= 246
ZA = 1.5

Şekil 4.6. ZA = 1.5 anındaki dalganın potansiyel fonksiyon eğrileri

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuç

Dalgakıranların tabanında gözenekli ortamın var olması halinde, yapının dalgalı kesimindeki deniz tabanı üzerinde oluşan hidrodinamik ve hidrostatik basınçlar ile yapının dalgasız kesimindeki hidrostatik basınç arasında periyodik olarak meydana gelen değişimler etkisiyle gözenekli ortamda da bir akış oluşmaktadır. Değişimin periyodikliğine uygun olarak ortamdaki her noktada basınç ve hız değerleri de değişmektedir. Bu değerlerin hesaplanması için yürütülen bu çalışmada, ortam ve sınır şartlarına uygun olarak geliştirilen matematik modelin bilgisayar programı hazırlanmıştır. Programın çalıştırılabilmesi için bir örnek problem üzerinde deneme yapılmıştır.

Gözenekli ortamdaki akış, Darcy kanununun diferansiyel biçimi esas alınarak tanımlanmıştır. İzotrop, homojen ve sıkıştırılamayan ortamda oluşan sıkıştırılamaz akış denklemi üzerinde sayısal analiz yöntemi uygulanmıştır. Akışkanlar mekaniği alanında sıkça karşılaşılan kısmi diferansiyel denklemler parabolik, eliptik ve hiperbolik formlarda ortaya çıkmaktadır. Sonlu farklar yöntemiyle kısmi diferansiyel denklemlerin çözümü yapılmıştır. Özellikle eliptik kısmi diferansiyel formda oluşan akım fonksiyonu denklemi/potansiyel fonksiyon denklemi sınır şartlarına göre uyarlanarak çözümüne gidilmiştir.

Sınır şartlarının tanımlanabilmesi için gözenekli ortam bir düzlemsel grid sistem halinde temsil edilmiştir. Deniz ortamında bir dalgakıran tasarlanmış olup, gözenekli ortam ve geçirimsiz bir tabaka üzerinde bulunmaktadır. Dalganın deniz tabanında oluşturduğu basınç değişimi ile gözenekli ortamın içersinde bir akış söz konusu olmaktadır. Bu akışın mertebesinin ne kadar olduğu bu çalışma kapsamında hesaplanmıştır. Belirli bir permeabilite katsayısıyla ortam temsil edilmiştir. Grid sistem, yatay yönde dalgakıran öncesi ve sonrası kısımlara kadar, düşey yönde ise deniz

tabanından geçirimsiz tabakaya kadar uzanmaktadır. Deniz tabanına denk gelen şebeke ara noktalarında; dalgakıran öncesi hal için hidrostatik ve hidrodinamik basınçlar belirli bir periyot dahilinde hesaplanarak alınmakta, dalgakıran sonrası için hidrostatik basınç bilinen sınır şartları olarak ele alınmaktadır. Geçirimsiz tabaka üzerindeki noktalarda ise düşey akışkan parçacığı hızı sıfır olarak, dalgakıran öncesi ve sonrası grid sistemin ilk ve son düşey eksenlerindeki sınırlarında basınçlar deniz taban basıncına eşit alınmıştır. Eliptik formdaki potansiyel fonksiyonun kısmi diferansiyel denklemi bu sınır şartları esas alınarak sonlu farklar yöntemi ile çözülmüştür.

Sonuçta, grid sistemin her noktasındaki basınç, yatay ve düşey hız bileşenleri, bileşke hız ve bileşke hızın yatayla saat yönü tersine göre yaptığı açı hesaplanmıştır. Şebeke içerisinde değişen her basınç koşuluna uygun olarak yedi hal için akış karakteristikleri hesaplanmıştır. Bunları temsilen yedi koşul için eş basınç eğrileri grid sistem içerisinde çizilmiştir. Noktalardaki hızlara göre yamuk kuralı esas alınarak, dalgakıranın ortasına denk gelen bir düşey eksen ($i=20$) den geçen debi, birim genişlik ve belli bir permeabilite katsayısı için hesaplanmıştır.

Dalgalanmış su yüzü profilinin, dalgalanmamış su seviyesinin üzerinde olduğu birinci, ikinci ve altıncı durumlarda yatay sızma hızının dalgakıranın mansabına yönelik olduğu ve yatay hızların da bu sıralamaya uygun olarak maksimumdan minimuma doğru değiştiği belirlenmiştir. Debilerde benzer mertebede azalmaktadır.

Dalgalanmamış su yüzü profilinin daha düşük olması durumunda (dördüncü, üçüncü ve beşinci durumda) ise yatay hızlar menbaya doğru yönelmektedir ve mertebeleri sırasıyla azalmaktadır. Debiler ise benzer oranda düşmektedir.

Bir periyotluk zaman içerisinde yatay ve düşey akışlar dengelenmektedir. Bu da sistemin dinamik dengede olduğunu göstermektedir. Ancak dalgakıranın menbaa topuğunda birinci durum maksimum basınç ve pozitif yönde sızma bileşke hızı, üçüncü durumda ise minimum basınç ve negatif yönde sızma bileşke hızı elde edilmiştir.

Dalgakıran tabanındaki $i = 20$ düşey kesitinde birim genişlik için debi hesapları yapılmıştır. Birinci, ikinci ve altıncı durumda debiler mansap tarafına , üçüncü, dördüncü ve beşinci durumlardakiler ise menbaya doğru birbirlerini dengeler vaziyette akmaktadırlar. Ancak, ikinci gruptaki debilerin toplamı , birinci gruptakilere oranla daha fazla olduğu görülmüştür. Daha hassas bir çalışmayla debilerin dengeleneceği sanılmaktadır. Aksi halde taşınım sözkonusu olacaktır.

5.2. Öneriler

Bu çalışmada, kararlı akış halini esas alan bir yaklaşımla hesaplama yapılmıştır. Sınır şartları her bir zaman aralığında sabit olduğu varsayımına göre ele alınmıştır. Ancak bilinmektedir ki deniz tabanındaki basınç değişimi zamanla değişkendir. Sınır şartlarının zamanın fonksiyonu olarak alan ve kararsız akış esaslarına göre gözenekli ortamdaki akışı inceleyen bir çalışmanın yapılması önerilebilir.

KAYNAKLAR

1. KAPDAŞLI , S. ; “ Kıyı Mühendisliği “ , İTÜ İnş. Fak. Mat. İst , 1992
2. KAYKAYOĞLU , C. , R. ;” Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğine Giriş” , CFD 101 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğine Giriş Ders Notları , 1994
3. KORKMAZ , H. ; “Yapısal Basınç Prensipleri “ , Yetkin A. Ş. , Ankara , 1991
4. KOUTİTAS , C. , G. ;” Elements Of Computational Hydraulics “ , Chapman & Hall
5. RAHMAN,M. ;” Partial Differential Equations“ ,C.M.P.,Southampton,1991
6. SAYDAM , T ;” Akışkanların Gözenekli Ortamdaki Akışı “ , Çağlayan Basımevi ,1973
7. SPİEGEL , M. , R. , “ Finite Differences And Difference Equations “ , Schaum’s Outline Series , Mc Graw - Hill , 1994
8. TERZAGHI , K. , PECK , R. , B. ; “ Mühendislik Tatbikatında Zemin Mekaniği “ , Matbaa Teknisyenleri Basımevi , 1972
9. U.S. Army Coastal Engineering Research Center ; “ Shore Protection Manual “ , Departman of The Army Corps of Engineers , 1975
10. UZUNER , B. , A. , “ Temel Zemin Mekaniği “ , Teknik Yayınevi , 1990