

İKİ PARALEL LEVHA ARASINDA
NON-NEWTONIAN AKIŞIN MODELLENMESİ

39155

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Gürşat ALTUN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Ocak
Tezin Savunulduğu Tarih : 12 Şubat

Tez Danışmanı : Yard.Doç.Dr. Mustafa HACİİSLAMOĞLU
Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Aytin GÖKTEKİN
Doç.Dr. Erdal ÖZKAN

ÖNSÖZ

Yüksek lisans bitirme tezi olarak yaptığım bu çalışmanın yapılacak benzeri çalışmalara ışık tutacağı inancındayım.

Tez konusunun belirlenmesi ve çalışma süresince yapmış olduğu yönlendirme ile, bilimsel yardımlarından ve göstermiş olduğu yakın ilgiden dolayı danışmanım Yard. Doç. Dr. Mustafa HACIİSLAMOĞLU' na, tüm öğrenim hayatım boyunca yardımlarını esirgemeyen bölüm başkanımız Prof. Dr. Argun GÜRKAN'a, diğer öğretim üye ve görevlilerine teşekkür ederim.

Bu çalışma sırasında maddi ve manevi katkıları nedeniyle sevgili eşim Belgin ALTUN' a, araştırma görevlisi arkadaşlarıma ve Yük. Müh. Levent ERDOĞAN' a teşekkür ederim.

Gürşat ALTUN
25 Ocak 1993

İÇİNDEKİLER

ÖZET	V
SUMMARY	VI
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1. Anülüsün Paralel İki Levha (slot) Şeklinde Gösterilmesi	8
2.2. Slotta Akışkan Elemanına Etkiyen Kuvvetler	11
2.3. Newtonian Akışkanlar İçin Sürtünme Basınç Kayıpları	13
2.3.1. Sondaj Dizisinin veya Levhanın Hareketsiz Olması Durumu	14
2.3.2. Sondaj Dizisinin veya Levhanın Hareketli Olması Durumu	15
BÖLÜM 3. MATEMATİK MODELİN GELİŞTİRİLMESİ	18
3.1 Power-law Model	18
3.2 İki Paralel Levha Arasındaki Power-law Akışkan Akışının Modellenmesi	22
3.2.1. Birinci Bölge İçin Hız Profili ve Debi Bağıntısının Elde Edilmesi	25
3.2.2. İkinci Bölge İçin Hız Profili ve Debi Bağıntısının Elde Edilmesi	27
3.2.3. Bütün Sistem İçin Debi- Sürtünme Basınç Kaybı Gradyeni İlişkisi	28
3.2.4. Bütün Sistem İçin Sürtünme Basınç Kaybı Gradyeninin Hesaplanması	29
3.2.5. λ' nın Bulunması	31
3.2.6. Minimum Ortalama Hız	35
BÖLÜM 4. MODELİN DEĞERLENDİRİLMESİ	38
SONUÇLAR	43
SİMGELER	46
SI METRİK DÖNÜŞÜM FAKTÖRLERİ	47

KAYNAKLAR	48
EK-A AKIŞ DAVRANIŞ İNDEKSİNE (n) BAĞLI OLARAK λ GRAFİKLERİ	50
EK-B AKIŞ DAVRANIŞI İNDEKSİNE (n) BAĞLI OLARAK HATA (E) GRAFİKLERİ	62
ÖZGEÇMİŞ	73



ÖZET

Sondajın güvenle ilerlemesi için sondaj mühendisinin düşey dizi hareketleri sonucu oluşan surge ve swab basınçlarını doğru hesaplayan bir modele ihtiyacı vardır. Bu çalışmada, sondaj sırasında düşey dizi hareketleri sonucu non-Newtonian Power-law akışkan akışının neden olduğu sürtünme basınç kaybını veren model analitik çözüm kullanılarak geliştirilmiştir. Newtonian akışkanlar için iki paralel levha arasında akış (slot) geometrisi ve anüler geometri arasındaki kriter, bu çalışmada kullanılan non-Newtonian Power-law akışkanlar içinde kabul edilerek analitik çözüm elde edilmiştir. Literatür örneklerinde ve saha uygulamalarında, Dodge ve Metzner' in çalışmaları sonucu Power-law akışkanlar için tanımladıkları akmazlık terimi, Newtonian akışkanlar için sürtünme basınç kaybını veren ifadedeki akmazlık terimi yerine kullanılarak, Power-law akışkanlar için sürtünme basınç kaybı hesaplanmaktadır. Ancak, analitik çözüm bütünüyle Power-law akışkanlar için yapılmadığından sonuç tam değil yaklaşıktır. Bu nedenle, yapılan bu çalışmada Power-law akışkanlar için düşey dizi hareketleri sonucu oluşan sürtünme basınç kayıplarını hesaplayan analitik çözüm geliştirilmiştir.

Geliştirilen bağıntı ve uygulamada kullanılan bağıntının sonuçları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda, literatürde verilen ve uygulamada kullanılan yöntemle hesaplanan sonuçların, geliştirilen bağıntı sonuçlarından daha büyük olduğu belirlenmiştir. Oysa daha düşük basınç kaybı değeri, daha büyük manevra hızlarına olanak sağlar. Bu ise, sondajın daha kısa sürede ve daha az maliyetle tamamlanmasıdır.

Ancak, akış davranış indeksinin bire eşit olması halinde sonuçların birbirine eşit olduğu, birden daha küçük akış davranış değerlerinde farklı sonuçların hesaplandığı belirlenmiştir. Ortalama hız $\bar{V}$, değerinin düşük değerleri için yapılan hatanın özellikle swab basınçlarını hesaplarken daha büyük olduğu görülmüştür.

Dizi hareket hızının V_p , yüksek değerleri için basınç kayıplarının yüksek olduğu gözlenmiştir. Geliştirilen denklem ile sadece pozitif ortalama hız değerleri için değil, aynı zamanda sadece dizi hareketi sonucunda oluşan negatif ortalama hız değerleri içinde surge basınçlarının hesaplanabildiği gösterilmiştir.

SUMMARY

MODELLING OF NON-NEWTONIAN FLUID FLOW THROUGH A SLOT

The science of fluid mechanics is very important to the drilling engineers. Extremely large fluid pressures are created in the long slender wellbore and tubular pipe strings by the presence of drilling mud or cement. The presence of these pressures must be considered in almost every well problem encountered. The subsurface fluid pressure can be developed for three common well conditions. These well conditions include,

1. A static condition in which both the well fluid and the central pipe string are at rest,
2. A circulating operation in which the fluids are being pumped down the central pipe string and up the annulus,
3. A tripping operation in which a central pipe string is being moved up or down through the fluid.

The second and third conditions are complicated by the non-Newtonian behavior of drilling muds and cements than the Newtonian's.

The displacement of drilling fluid by the movement of the drill strings or casing produces pressure variations in the borehole. The velocity of this displacement governs the magnitude of the pressure change which can add or subtract to the hydrostatic pressure of the mud, to produce surge or swab pressure, respectively. Thus, surge pressure is a pressure increase caused by running drill strings into a liquid filled borehole; while swab pressure is a pressure decrease that occurs when drill strings are pulled out of a liquid filled borehole.

Excessive surge and swab pressure can lead to serious well problems. Pressure reduction due to swabbing is a major source of blowouts [3],[5]. Swabbing can lead to formation fluid invading the well annulus (a kick). High surge pressure can lead to loss of mud either suddenly by fracturing the formation or slowly by continuous efflux to permeable formation. The drilling fluid enters the fractures and this produces a drop in the fluid level, causing a reduction in the well bore hydrostatic pressure [8],[9]. This reduction in mud hydrostatic pressure allows formation fluids to enter the well bore which may lead to a blowout.

The need for calculating surge pressures has long been recognized in the industry and several steady-state [8],[9],[10], as well as unsteady-state (also called dynamic models) [11],[12],[14], models of this phenomenon exist in the literature. In a comparative study of the steady state and the dynamic models, point out that the steady-state models are conservative in their prediction of surge pressure, because, unlike the dynamic models, several factors are omitted, such as fluid inertia, fluid compressibility, pipe longitudinal elasticity, and pipe distance from bottom. [13]

Most drilling fluids are too complex to be characterized by a single value for viscosity. Fluids that do not exhibit a direct proportionality between shear stress and shear rate are classified as non-Newtonian. Since the Power-law fluids used in this study, Bingham plastic fluids definition and properties will not be given.

The non-Newtonian Power-law model is defined by

$$\tau = K|\dot{\gamma}|^{n-1}\dot{\gamma}$$

The Power-law model requires two parameter for fluid characterization. However, the Power-law model can be used to represent a pseudoplastic fluid ($n < 1$), a Newtonian fluid ($n = 1$), or a dilatant fluid ($n > 1$). Above equation is valid only laminar flow. The parameter K usually is called the consistency index of the fluid, and the parameter n usually is called either the Power-law exponent or the flow-behavior index. The deviation of the dimensionless flow-behavior index from unity characterizes the degree to which the fluid behavior is non-Newtonian. The units of consistency index K depend on the value of n.[20]

A theoretical analysis of couette flow of Power-law fluids for surge and swab pressure is conducted for closed-end casing or drill strings. Using the mathematical relationships developed, a family of curves is obtained which is a function of n, and K. Knowledge of the mud rheological properties, pipe velocity, pipe end hole geometry is needed to determine the surge and swab pressure.

Annular flow also can be approximated using equations developed for flow through rectangular slots. The slot flow equations are much simpler to use and are reasonably accurate as long as the ratio between drillstring and annulus $d_1/d_2 > 0.3$. This minimum ratio almost always is exceeded in rotary drilling applications. In this study, a laminar couette flow model for Power-law fluids through a slot (two parallel plates, with one plate moving and the

other stationary) is considered. Based on the developed model, equations and graphs are employed to determine the surge or swab pressure.

The following assumptions are made in the derivation of the model equations:

- the drillstring is placed concentrically in the casing or open hole
- sections of open hole are circular in shape and of known diameter
- the drilling fluid is incompressible
- steady-state one dimensional flow takes place
- the flow regime is laminar
- the flow is isothermal and the fluid properties are constant.

Consider the flow of a Power-law fluid between two flat parallel plates representing a slot. The top plate is moving with a constant velocity, V_p , and the lower plate is stationary. Two distinct flow areas occur.

1. A region within the boundary limits: $0 \leq y \leq \lambda h$. The rate of shear in this region is negative, and the velocity profile is

$$V_1 = \frac{\left(\frac{1}{K} \frac{dP_f}{dL}\right)^{\frac{1}{n}}}{\left(1 + \frac{1}{n}\right)} \left[(\lambda h)^{\left(1 + \frac{1}{n}\right)} - (\lambda h - y)^{\left(1 + \frac{1}{n}\right)} \right]$$

2. a region within the boundary limits: $\lambda h \leq y \leq h$. The shear rate in this region is positive. The velocity profile is

$$V_2 = \frac{\left(\frac{1}{K} \frac{dP_f}{dL}\right)^{\frac{1}{n}}}{\left(1 + \frac{1}{n}\right)} \left[(h - \lambda h)^{\left(1 + \frac{1}{n}\right)} - (y - \lambda h)^{\left(1 + \frac{1}{n}\right)} \right] - V_p$$

The volumetric flow rate of fluid through a slot can be obtained from following equation,

$$Q = W \int_0^h V dy$$

substituting for V_1 and V_2 in above equation, the flow rate is

$$q = \frac{\left(\frac{1}{K} \frac{dP_f}{dL}\right)^{\frac{1}{n}}}{\left(2 + \frac{1}{n}\right)} W h^{(2 + \frac{1}{n})} \left[(1-\lambda)^{(2 + \frac{1}{n})} + \lambda^{(2 + \frac{1}{n})} \right] - W V_{ph} (1-\lambda)$$

Using the relationship between mean velocity and flow rate on above equation, and solving for the frictional pressure loss gradient is

$$\frac{dP_f}{dL} = \frac{K}{h^{(n+1)}} \left[\frac{(\bar{V} + V_p (1-\lambda)) \left(2 + \frac{1}{n}\right)}{\lambda^{(2 + \frac{1}{n})} + (1-\lambda)^{(2 + \frac{1}{n})}} \right]^n$$

At $y = \lambda h$, $V_1 = V_2$ hence

$$\frac{dP_f}{dL} = \frac{K}{h^{(n+1)}} \frac{\left[V_p \left(1 + \frac{1}{n}\right)\right]^n}{\left[(1-\lambda)^{(1 + \frac{1}{n})} - \lambda^{(1 + \frac{1}{n})}\right]^n}$$

Dimensionless pressure loss gradient are equal to each other in above the last two equation and using this relationship λ is obtained as following form.

$$\lambda = \left[(1-\lambda)^{(1 + \frac{1}{n})} - \frac{V_p \left(1 + \frac{1}{n}\right) \left[\lambda^{(2 + \frac{1}{n})} + (1-\lambda)^{(2 + \frac{1}{n})}\right]}{[\bar{V} + V_p (1-\lambda)] \left(2 + \frac{1}{n}\right)} \right]^{\left(\frac{n}{n+1}\right)}$$

λ can be determined for given pipe velocity and mean velocity by iteration, or by any other convenient numerical technique.

The algorithm to determine surge and swab pressure is outlined below.

1. For a given set of pipe velocity, mean velocity, and flow behavior index n , the value λ is determined.

2. Substituting the λ value in frictional pressure loss gradient equation, surge or swab pressure is obtained.

If there is no fluid flow is due only to pipe movement. In this case λ is equal to one, and mean velocity is considered as the minimum mean velocity.

Using velocity profile equation which is developed for slot flow, the minimum mean velocity for swab cases and surge cases can be obtained.

The minimum mean velocity for swab case is:

$$\bar{V}_{\min} = \frac{(n+1)}{(2n+1)} V_p$$

Similarly, minimum mean velocity for surge case is:

$$\bar{V}_{\min} = - \frac{(n+1)}{(2n+1)} V_p$$

To calculate the frictional pressure loss gradient for Power-law fluids, Dodge and Metzner defined an apparent viscosity concept and used the frictional pressure loss gradient equation for Newtonian fluids.

The apparent viscosity for Power-law fluids, in field units, is defined as,

$$\mu_a = \frac{K(d_2 - d_1)^{(1-n)}}{144 \bar{V}^{(1-n)}} \left[\frac{2 + \frac{1}{n}}{0.0208} \right]^n$$

The frictional pressure loss gradient equation in field units is:

$$\left(\frac{dP_f}{dL} \right)_{\text{literature}} = \frac{K}{144000} \frac{[(\bar{V} + 0.5 V_p) \left(\frac{2 + \frac{1}{n}}{0.0208} \right)]^n}{(d_2 - d_1)^{(n+1)}}$$

The model proposed in this study has been compared with the current model in the literature. For small values of mean velocity, the frictional pressure loss gradient calculated from current model in the literature is much greater than that predicted from our model. Two models agree well at intermediate and high mean velocity range. Therefore, the equations currently used to determine safe pipe movement speed is conservative. The pipe can be moved faster without causing serious problem in the wellbore. A faster pipe movement will reduce the drilling time and costs.

Although, the new equations developed in this thesis are more complex, they can be easily implemented using programmable calculators or personal computers. Thus, the proposed model can be utilized for field applications.



1. GİRİŞ

Petrol ve doğal gaz için yapılan sondajlar oldukça yüksek maliyetli ve risklidir. Sondaj sırasında karşılaşılan çeşitli sorunlar sondaj maliyetine etki eder. Bu sorunların oluşturduğu gecikmeler ve bunların çözümü sondaj maliyetinin büyük bir bölümünü oluşturabilir. Bu nedenle sondaj sırasında yapılacak her işlemin daha önceden iyice düşünülmüş ve planlanmış olması gerekmektedir.

Akışkanlar mekaniği bilimi, sondaj mühendisliği ve sondaj mühendisleri için çok önemli bir konudur. Derin bir sondaj kuyusunda sondaj çamuru ve çimento sıvısının olması, oldukça büyük akışkan basınçları yaratır. Hemen hemen bütün kuyularda bu yüksek basınçlarla karşılaşılabilceği gerçeği düşünülmelidir. Bir sondaj kuyusunda akışkan basıncı ile genel olarak üç farklı durumda karşılaşılır.

1. Akışkanın ve sondaj dizisinin kuyuda hareketsiz olması yani statik olması durumu.

2. Dizinin hareketsiz olması ancak, sondaj akışkanının dizi içerisinden basılarak anülüsten yukarıya doğru hareket etmesi.(sirkülasyon)

3. Hem akışkan sirkülasyonu hem de dizinin hareket ettirilmesi durumu.

Sondaj akışkanının ve çimentosunun non-Newtonian özellik göstermesi nedeniyle ikinci ve üçüncü durumlarda basınç kaybı hesaplarının yapılması oldukça zor ve komplekstir.

Sondajda problem oluşturan önemli etkenlerden birisi, manevra yapılırken kuyuda oluşan basınç değişimleridir. Manevra sırasında, kuyuya indirilen veya çıkarılan boruların hareketinden dolayı anülüste oluşan akışkan akışı

kuyu içerisinde basınç değişimine neden olur. Sondaj dizisinin veya koruma borusu dizisinin (casing) kuyuya indirilmesi, kuyu içerisinde bir miktar sıvıyı teleyeceğinden kuyuda bir akışkan akışı oluşur. Bu akışın yarattığı sürtünme basınç kayıpları kuyu içerisinde basıncın artmasına yol açar. Bu olaya "surge" adı verilir. Aksi durumda, yani sondaj dizisinin kuyudan yüzeye doğru çekilmesi durumunda ise ters yönde akışkan akışı oluşacağından meydana gelen sürtünme basınç kayıpları kuyuiçi basıncının azalmasına neden olurki bunada "swab" veya "negatif surge" adı verilir.

Surge nedeni ile kuyu içi basınçlarının artması, zayıf formasyonları çatlatarak çamur kaçağına neden olurken, swab nedeni ile kuyu içi basıncının düşmesi ise akışkan içeren formasyonlardan kuyuya giriş olması ile son bulabilir. Her iki durumda sondajın başarısı ve güvenliliği açısından istenmeyen durumlar yaratarak kuyu maliyetinin zaman zaman artmasına sebep olur. Bu nedenlerle sondaj mühendisi manevra sırasında oluşacak basınç değişimlerini tehlike yaratmayacak sınırlarda tutmalıdır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Giriş bölümünde sözedilen nedenlerden dolayı, manevra sırasında karşılaşılabilecek basınç değerlerini önceden hesaplayabilen bir modele gereksinim vardır. Surge-swab basınçlarını hesaplamak için ilk çalışma Cannon [1] tarafından yapılmıştır. Cannon, sondaj dizisinin hareketli olması durumunda negatif surge basınçlarını ölçmüş ve swab sonucu kuyu içerisinde oluşan basınç azalımının, formasyon akışkanlarının kuyu içerisine doğru akmasına ve bunun sonucu bazı durumlarda blow-out' a (formasyon akışkanının basınç farkı nedeniyle kuyu içerisine doğru hareket etmesi ve bu hareket sonucu kuyudaki sondaj çamuru ile birlikte yüzeye doğru fışkırması) neden olabileceği kadar yeterli büyüklükte olabileceğini göstermiştir. Daha sonra Goins [2], sondaj dizisinin kuyuya indirilmesi sonucu ortaya çıkan pozitif surge' ü ölçmüştür. Çalışmasında, basınç artışlarının formasyonları çatlatarak sondaj çamuru kaçaklarına neden olabileceği kadar büyük olduğunu göstermiştir.

Cardwell [3], zamana bağlı basınç değişimlerini veren çalışması saha kullanımı için uygun özellikler taşımış bazı durumlarda yaklaşık sonuçlar vermiştir. Ormsby [4], çalışmasında laminer ve türbülanslı akıştan bahsetmiş ve surge basıncının azaltılması için çamur özelliklerinin değiştirilmesini gözönüne almıştır. Ancak yapmış olduğu çalışma oldukça kompleks ve sahada kullanılması daha zordur. Cardwell ve Ormsby çalışmalarında, kuyudaki çamurun akmazlığından kaynaklanan basınç artışında gözönüne almışlardır.

Clark [5],[6], surge basınçlarını grafik ile ifade etmiş ve bu basınç değerlerini tahmin etmekte kullanılan denklemleri çalışmasında vermiştir. Yapmış olduğu

Çalışmanın karmaşık olması sahada kullanımını olumsuz yönde etkilemiştir. alışmasında, amur jelinin kırılması nedeniyle oluşan basınçları gözönüne almamıştır. Eckel [7], surge-swab basınçlarının çamurda gas-cut (amura formasyonlardan gaz girmesi) oluşturması veya tuzlu su girişi olması gibi sorunlar oluşturabileceğini göstermiştir.

Burkhardt' ın çalışması [8], surge-swab basınçlarını tahmin eden önemli çalışmalardan birisidir. Burkhard, amurla doldurulmuş kuyularda dizi hareketiyle oluşan surge basınçlarının saha ölçümlerini ve teorik çalışmalarını yapmıştır. Geliştirmiş olduğu teorik yaklaşımla, pozitif ve negatif surge basınç değerlerini Newtonian sıvılar için başarıyla tahmin etmiş ve nasıl meydana geldiklerinin anlaşılması için temel kaynak oluşturmuştur. Yapmış olduğu çalışmada, yapılan ölçümler ve geliştirilen analitik yaklaşım en büyük basınç değişiminin kuyuda hareket ettirilen çamurun sürtünme basınç kayıplarından kaynaklandığını göstermiştir. Sondaj dizisinin hareketi ile oluşan akışkan akışının oluşturduğu sürtünme basınç kayıplarının analitik olarak hesaplanması ancak belli varsayımlar ile mümkün olmuştur. Bu nedenle Burkhardt, yaklaşık bir analitik çözüm geliştirmiş, bu çözümün sonuçlarını grafikler halinde vermiştir. Bu grafikler surge basıncının hesabını kolaylaştırmış ve geliştirilen pratik yöntemle bulunan sonuçlar, deney kuyularında ölçülen verilerle karşılaştırıldığında birbirlerine yakın sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Burkhardt; amur jelinin kırılması, çamur sütunu momentumu ve çamur akışından oluşan sürtünme basınç kayıplarını incelemiştir. Bunlara bağlı olarak, sondaj dizisi hareket ederken oluşan hız profillerini ve çamur yapışma sabiti (mud clinging constant) zerine çalışmalar yapmıştır. Çamur yapışma sabiti anülüsteki efektif çamur hızını bulurken kullanılmıştır.

Schuh [9], yaptığı çalışmada sondaj kuyularında çamur ve koruma borusu dizaynının surge basıncının dikkate alınarak yapılması gerektiğini belirtmiştir. Sondaj kuyusunun enaz sorunlarla delinebilmesi için iyi bir surge basıncı hesaplama yöntemine gerek olduğunu ve bununda iyi bir deneme-yanılma tekniği ile olabileceğini belirtmiştir. Surge basıncını hesaplamak için deneme-yanılma tekniğini içeren bir bilgisayar programı yapmış ve değişen parametreler için surge basıncı değişimini hesaplamıştır. Çalışmasında sondaj dizisinin maksimum hızla kuyuya indirilmesi sırasında maksimum kuyudibi basınçlarının oluşacağını göstermiştir.

Fontenot ve Clark [10], kuyudibi basınçlarındaki değişimlerin sondaj dizisi hareketinden, pompa çalışması değişimlerinden, çamur yoğunluğu ve özelliklerinin değişmesinden dolayı olabileceğini belirtmişlerdir. Çamur katkı maddelerinin, çamur akmaazlığını ve kuyudibi basınçlarını arttırabileceğini çalışmalarında kullanmışlardır. Surge-swab ve sirkülasyon basınçlarını hesaplayan yeni bir bilgisayar programı tanımlamışlardır.

İlk dinamik model Lubinski [11] tarafından geliştirilmiştir. Bu model, basınç hesaplarında sıkıştırılabilirliğin önemini belirtmiştir. Çalışmalarında sondaj dizisinin elastik olmadığını kabul etmiştir.

Lal [12], yaptığı çalışmalarda olayın fiziğini daha iyi tanımlayarak yeni bir surge-swab basıncını hesaplayan model tanımlamıştır. Bu modelde kuyu geometrisi, kuyunun değişen basınçla genişlemesi, manevra hızları, değişik matkap türleri ve çamur özellikleri parametrelerini dikkate alarak surge-swab basınçlarını hesaplamıştır. Geliştirdiği model belirli bir basınç için güvenilir maksimum manevra hızını hesaplar. Lal, surge-swab basınçlarının kararlı akış modeli (steady-state model) ile değil, kararsız akış modeli (dinamik model) ile çözülmesi gerektiğini

belirtmiştir.

Mitchell [13],[14], dinamik surge hesaplarına dizi elastisitesinide eklemiştir. Gerçek saha verilerini kullanarak dinamik model yardımıyla surge basınçlarının hesaplanabileceğini göstermiştir.

Chukwe ve Blick [15], yaptıkları çalışma da slot (paralel iki levha) içerisinde laminer non-Newtonian Power-law akışkan akışını modellemişlerdir. Çalışma, yalnızca alt ucu kapalı bir borunun kuyu içerisindeki hareketi sonucu meydana gelen basınç kayıplarını hesaplayabilen, kullanımı sınırlı bir modeldir.

Hacıislamoğlu ve Langlinais [16], çalışmalarında dizinin kuyu içerisinde eksantrik olmasına müsaade ederek, dizi eksantrikliğinin surge basıncı üzerindeki etkilerini göstermişlerdir.

Surge-swab basınçlarını hesaplamak için geliştirilmiş modeller iki grup altında incelenebilir. [8],[9],[10],[11],[12],[13]

1. Kararlı akış modeller (steady-state modeller)
2. Kararsız akış modeller (dinamik modeller)

Dinamik modeller esas olarak kararlı modellere benzemekle beraber, kararlı modellere göre daha fazla parametre içermektedir. Dinamik modellerin gözönüne aldığı fakat kararlı modellerde genellikle ihmal edilen bazı parametreler şunlardır. [17]

- Sıkıştırılabilirlik : Değişen basınçlara karşılık kuyudaki akışkanın, boruların ve formasyonların sıkıştırılabilirliği hesaplanarak kuyudaki hacimsel değişimler hesaplanır.

- Esneklik ve atalet momenti : Boru hareketinin yüzeyde durmasından sonra dizinin esnekliği ve hareket halindeki akışkanın kazanmış olduğu momentin neden olduğu akışkan akışının, kuyuiçi basınçları üzerindeki etkisi gözönüne alınır.

Yukarıdaki kabulleri içeren dinamik modeller daha karmaşık oldukları için çözümleri daha fazla bilgisayar gücü ve zamanı gerektirir. Dinamik ve kararlı modellerle hesaplanan surge basınçlarının sayısal olarak karşılaştırılmalarında [17], kararlı modellerin dinamik modellere yakın sonuçlar verdiği ve genellikle kararlı modellerle yapılan hesapların biraz daha büyük surge-swab basınç değerleri verdiği görülmüştür. Dinamik modelde daha düşük surge-swab basınçlarının olması, dizinin elastik özellik göstermesindendir. [14],[18]

Başka bir çalışmada, kuyuda hareket eden dizinin anülüsteki konumunun eksantrik olması durumunda surge-swab basınçlarının, dizinin anülüste konsantrik olması durumundaki değerleriyle karşılaştırıldığında daha düşük değerde olduğu görülmüştür. [16] Dinamik ve kararlı modellerin birbirlerine yakın sonuçlar vermesi, dinamik modellerde gözönüne alınan parametrelerin bazılarının surge-swab basınçlarını arttırıcı, bazılarının ise azaltıcı etki göstermesi nedeni ile birbirlerini elimine etmelerindendir. Literatürde, kompleks dinamik modellerin kararlı modellere göre üstün olduğu konusunda tam bir fikir birliği görülmemiştir.

Kaldığı gerek dinamik gerekse kararlı modellerin ortak noktası her ikisinde kararlı sürtünme basınç kaybı hesabına dayanmasıdır. Literatür araştırması neticesinde, surge-swab basınç kaybı değişimlerinin temelini teşkil eden sürtünme basınç kaybı hesabının Newtonian sıvılar için geliştirildiği görülmüştür. Non-Newtonian sıvılar için tam bir çözüme literatürde rastlamamakla birlikte, non-

Newtonian akışkanlar için Newtonian denklemdeki akma akma terimi yerine görünür non-Newtonian akma akma değeri kullanarak hesap yapılmaktadır. [9],[10],[19]

Bu çalışmada kararlı model kullanılarak non-Newtonian (Power-law) akışkan için sürtünme basınç kayıplarını hesaplayan analitik çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Non-Newtonian akışkanlar için surge-swab basınçlarının analitik çözüm yöntemleriyle hesaplanması sadece laminar akış rejimi için mümkündür. Eğer akış rejimi türbülanslı ise deneysel çalışmalar sonucu elde edilen korelasyonların kullanılması gerekmektedir. Eğer anüler akış debisi yeterince düşükse ki tipik bir petrol sondaj kuyusunda dizinin veya koruma borusunun indirilmesi sırasında genellikle böyledir, akış rejimi laminardır ve non-Newtonian akışkan modelleri için sürtünme basınç kayıpları ve akış debisi arasındaki matematiksel ilişki geliştirilebilir. Bu ilişki geliştirilirken matematik model için aşağıdaki kabuller yapılır.

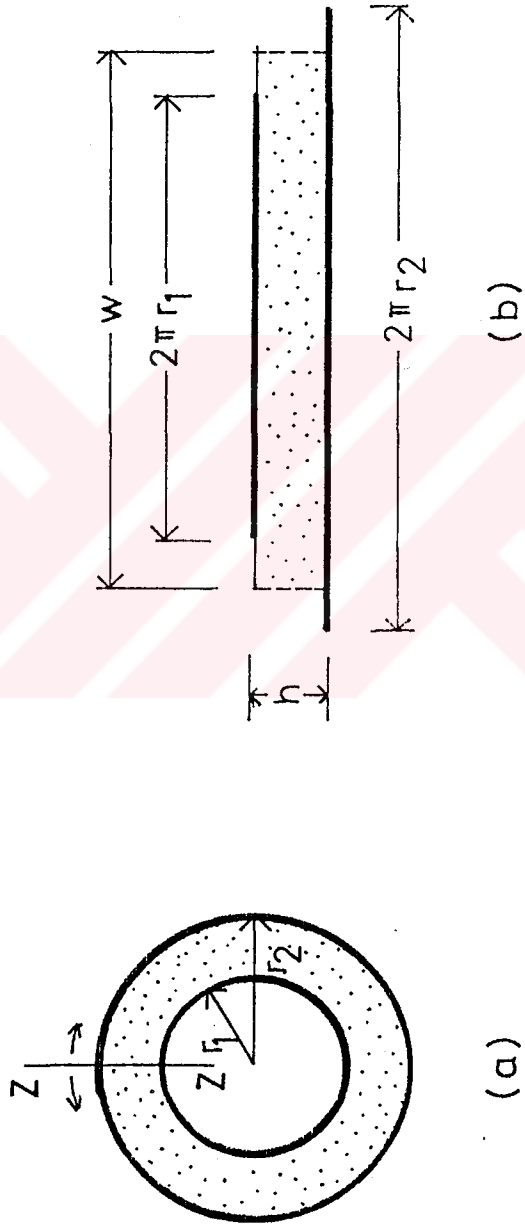
1. Sondaj dizisi koruma borusunda veya açık kuyuda konsantrik konumdadır.
2. Açık kuyu bölümü dairesel şekildedir ve çapı bilinir.
3. Sondaj akışkanı sıkıştırılamazdır, akışkan yoğunluğu her noktada aynıdır.
4. Akış kararlıdır. (steady-state)
5. Akış rejimi laminardır.
6. Akış izotermal ve akışkan özellikleri sabittir.

2.1. Anülüsün Paralel İki Levha (slot) Şeklinde Gösterilmesi

Newtonian ve non-Newtonian akışkanlar için, eğer sondaj dizisi hareketsiz ise sürtünme basınç kayıplarını hesaplayabilen analitik çözümleri vardır ve bu çözümler oldukça kolaydır. Bu durumda, anülüste akışkan akışı

sonucu oluşan hız profilini dolayısı ile sürtünme basınç kaybı ifadesini elde etmek oldukça kolaydır. Oluşan hız profili anülüste ve paralel iki levha arasındaki akışta simetridir. Bu ise analitik çözümü kolaylaştıran önemli etkenlerden birisidir. Ancak, bu durum için yapılan çözüm genel bir çözümü yansıtmaz, sadece özel bir durumdur. Oysa genel çözüm dizinin hareket ettirilmesinide içermektedir. Bu durumda Newtonian akışkanlar için genel bir çözüm vardır ve oldukça basittir. Fakat non-Newtonian akışkanlar için durum daha farklıdır. Bu durumda anülüste dizinin hareketi sonucu oluşan akışkan akışının neden olduğu hız profilinde bir simetri yoktur. Bu ise analitik çözümü zorlaştıran bir nedendir. Non-Newtonian Power-law akışkanlar için dizi hareketleri sonucu oluşan sürtünme basınç kaybı çözümünü anüler geometri kullanarak elde edilememektedir. Newtonian akışkanların analitik çözümünde kullanılan iki paralel levha arasında akış (slot) geometrisi ve anüler geometri arasındaki kriter Power-law akışkanlar içinde kabul edilerek analitik çözüm elde edilebilmektedir. Bu çalışmada da bu kriter kullanılarak analitik çözüm elde edilecektir.

Paralel iki levha arasındaki akışkan akışı için geliştirilmiş olan denklemler, anülüsteki akışkan akışı için kullanılabilir. Slot akış için elde edilen çözümler ile anüler geometri için yapılan çözümler, dizi çapı (d_1) ve anülüs çapı (d_2) oranının 0.3 ' den büyük olması durumunda birbirlerine oldukça yakın sonuç verir ve anülüsteki akışkan akışının modellenmesi için kullanılabilir. Zaten sondaj kuyusunda bu oran genellikle sağlanmaktadır. şekil 2.1' de hem anüler geometri hem de buna eşdeğer kabul edilen ve sürtünme basınç kayıplarını bulmak için kullanılan slot geometri görülmektedir.



şekil 2.1. Anülüsün slot geometri olarak gösterilmesi
a) Anüler geometri b) Eşdeğer slot

Şekil 2.1' de verilen anüler geometri z-z doğrultusunda kesilip açılırsa yüksekliği h , uzunluğu W (sondaj dizisinin ve anülüs çevresinin toplamının yarısı) ve alanı $A=Wh$ olan slot elde edilir. Slotun alanı A ve yüksekliği h aşağıdaki bağıntılarla ifade edilir.

$$A=Wh=\pi(r_2^2-r_1^2) \quad (2.1)$$

$$h=r_2-r_1 \quad (2.2)$$

2.2. Slotta Akışkan Elemanına Etkiyen Kuvvetler

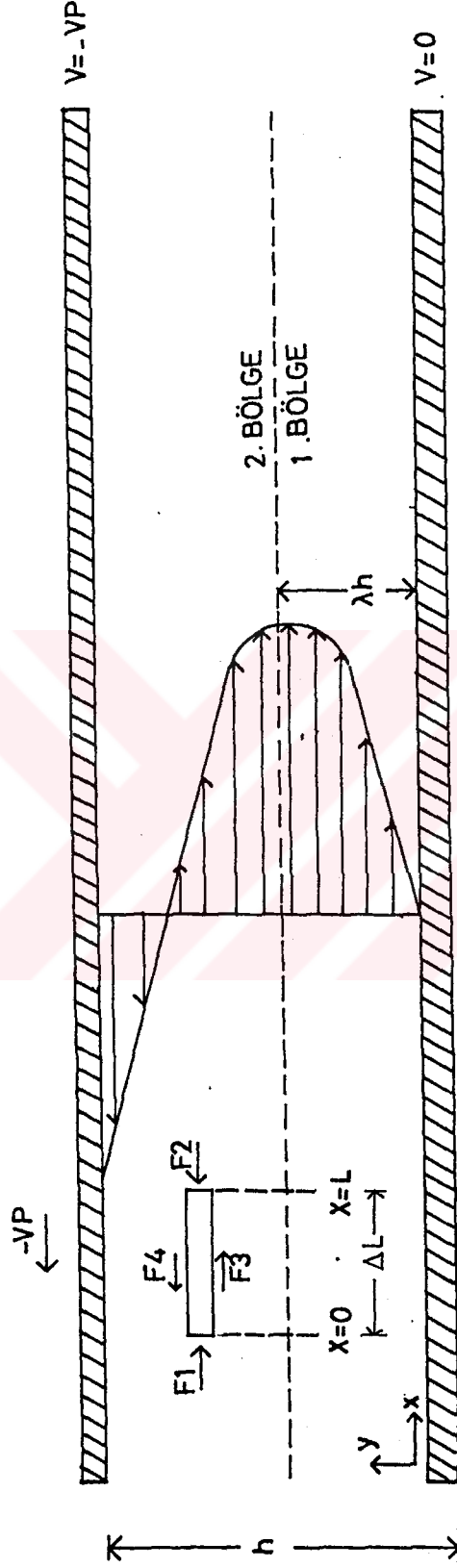
Bir slotta akan akışkanın kayma gerilmesi τ ve sürtünme basınç kaybı gradyeni (dP_f/dL) arasındaki ilişki, slot içerisinde laminar akış için bir akışkan elemanına etkiyen basınç ve viskoz kuvvetlerden elde edilebilir. Ancak buradaki önemli nokta, iki paralel levha (slot) içerisindeki akışkan elementinin üzerine etki eden kuvvetlerin toplamı kararlı durumda sifıra eşittir yani bir denge halindedir. Gözönüne alınan akışkan elementine etki eden kuvvetler ve hız profili şekil 2.2' de görülmektedir. Şekilde akışkan akışı yönü levhanın hareket yönüne ters ve akış hızı profili levha yüzeyine yaklaştıkça azalmaktadır. Yukarıda verilen denge koşulundan hareketle genişliği W ve kalınlığı Δy olan bir akışkan elementine etkiyen kuvvetler aşağıdaki şekilde yazılır.

$X=0$ noktasında $\Delta y W$ yüzeyine etki eden basınç kuvveti,

$$F_1=PW\Delta y \quad (2.3)$$

$X=L$ noktasında $\Delta y W$ yüzeyine etki eden basınç kuvveti,

$$F_2=P_2W\Delta y=(P-\frac{dP_f}{dL})W\Delta y \quad (2.4)$$



şekil 2.2. İki paralel levha arasındaki akışkan elementinin serbest cisim diyagramı.

$\Delta L W$ yüzeyine etkiyen kuvvet,

$$F_3 = \tau W \Delta L \quad (2.5)$$

$\Delta L W$ yüzeyine etkiyen kuvvet,

$$F_4 = \tau_{y+\Delta y} W \Delta L = \left(\tau - \frac{d\tau}{dy} \right) W \Delta L \quad (2.6)$$

Kararlı akış modeli kullanıldığı için akışkan elementine etkiyen kuvvetlerin toplamı sıfıra eşittir. Yani,

$$F_1 - F_2 + F_3 - F_4 = 0 \quad (2.7)$$

ya da açık şekliyle

$$P W \Delta y - \left(P - \frac{dP_f}{dL} \Delta L \right) W \Delta y + \tau W \Delta L - \left(\tau + \frac{d\tau}{dy} \Delta y \right) W \Delta L = 0 \quad (2.8)$$

yazılabilir.

Elde edilen denklem 2.8 $W \Delta L \Delta y$ ile bölünürse sürtünme basınç kaybı gradyenini veren diferansiyel denklem aşağıdaki formda,

$$\frac{dP_f}{dL} - \frac{d\tau}{dy} = 0 \quad (2.9)$$

elde edilir.

2.3. Newtonian Akışkanlar İçin Sürtünme Basınç Kayıpları

Daha öncede bahsedildiği gibi Newtonian akışkanlar için sürtünme basınç gradyenlerini heriki geometri için (silindirik ve kartezyen koordinatlarda dizi veya levhanın hareketsiz olması durumunda) veren bağıntılar literatürde verilmiştir. [19],[20].

2.3.1. Sondaj Dizisinin veya Levhanın Hareketsiz Olması Durumu

Literatürde bu durum için hız profili bağıntısı,

$$V = \frac{1}{4\mu} \frac{dP_f}{dL} \left[(r_2^2 - r^2) - (r_2^2 - r_1^2) \frac{\ln \frac{r_2}{r}}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \right] \quad (2.10)$$

debi bağıntısı,

$$Q = \frac{1}{8\mu} \frac{dP_f}{dL} \left[(r_2^4 - r_1^4) - \frac{(r_2^2 - r_1^2)^2}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \right] \quad (2.11)$$

ve sürtünme basınç kaybı gradyeni ifadesi,

$$\frac{dP_f}{dL} = \frac{8\mu \bar{V}}{r_2^2 + r_1^2 - \frac{r_2^2 - r_1^2}{\ln \frac{r_2}{r_1}}} \quad (2.12)$$

olarak verilmiştir. [19]

Denklem 2.12 literatürde Lamb' ın denklemi olarak bilinir ve esas geometri için elde edilmiştir. Bu denklem saha birimlerinde,

$$\frac{dP_f}{dL} = \frac{\mu \bar{V}}{1500 \left(d_2^2 + d_1^2 - \frac{d_2^2 - d_1^2}{\ln \frac{d_2}{d_1}} \right)} \quad (2.13)$$

şeklinde yazılır. Eğer $d_1 \rightarrow 0$ için limit alınırsa denklem 2.13 aşağıdaki şekle dönüşür.

$$\frac{dP_f}{dL} = \frac{\mu \bar{V}}{1500 d^2} \quad (2.14)$$

Bu denklem saha birimlerinde boru içerisinde Newtonian akışkan akışı için sürtünme basınç kaybı gradyenini verir ve Hagen-Poiseuille denklemine benzer.

Aynı şekilde paralel iki levha arasındaki akış için hız profili bağıntısı,

$$V = \frac{1}{2\mu} \frac{dP_f}{dL} (hy - y^2) \quad (2.15)$$

debi bağıntısı,

$$Q = \frac{Wh^3}{12\mu} \frac{dP_f}{dL} \quad (2.16)$$

ve sürtünme basınç kaybı gradyeni ifadesi,

$$\frac{dP_f}{dL} = \frac{\mu \bar{V}}{1000 (d_2 - d_1)^2} \quad (2.17)$$

şeklinde verilmiştir. [19]

2.3.2. Sondaj Dizisinin veya Levhanın Hareketli Olması Durumu

Literatürde anüler geometri için hız profili ifadesi

$$V = \frac{1}{4\mu} \frac{dP_f}{dL} \left[(r_2^2 - r^2) - (r_2^2 - r_1^2) \frac{\ln \frac{r_2}{r}}{\ln \frac{r_2}{r_1}} + V_p \ln \frac{\frac{r_2}{r}}{\frac{r_2}{r_1}} \right] \quad (2.18)$$

debi bağıntısı,

$$Q = \frac{\pi}{8\mu} \frac{dP_f}{dL} \left[(r_2^4 - r^4) - \frac{(r_2^2 - r_1^2)^2}{\ln \frac{r_2}{r_1}} + \pi V_p \left[\frac{(r_2^2 - r_1^2)}{2 \ln \frac{r_2}{r_1}} - r_1^2 \right] \right] \quad (2.19)$$

ve sürtünme basınç kaybı gradyeni ifadesi,

$$\frac{dP_f}{dL} = \frac{1}{(r_2^2 + r_1^2) - \frac{(r_2^2 - r_1^2)}{\ln \frac{r_2}{r_1}}} \left[8\mu \bar{V} - \frac{4\mu V_p}{\ln \frac{r_2}{r_1}} + \frac{8\mu V_p r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \right] \quad (2.20)$$

olarak verilir.

Benzer şekilde iki paralel levha arasında akış için hız profili bağıntısı,

$$V = \frac{1}{2\mu} \frac{dP_f}{dL} (yh^2 - y) - V_p \frac{y}{h} \quad (2.21)$$

debi bağıntısı,

$$Q = \frac{Wh^3}{12\mu} \frac{dP_f}{dL} - \frac{V_p}{2} Wh \quad (2.22)$$

ve sürtünme basınç kaybı gradyeni ifadesi,

$$\frac{dP_f}{dL} = \frac{12\mu \left(\bar{V} + \frac{V_p}{2} \right)}{(r_2 - r_1)^2} \quad (2.23)$$

olarak verilmiştir. [19]

Denklem 2.23 ile verilen sürtünme basınç kaybı gradyeni ifadesi saha birimlerinde,

$$\frac{dP_f}{dL} = \frac{\mu \left(\bar{V} + \frac{V_p}{2} \right)}{1000 (d_2 - d_1)^2} \quad (2.24)$$

şeklindedir.

Sondaj dizisinin ve levhanın hareket ettirilmesi durumunda swab basıncı oluşturan hareket yönü negatif alınmış ve denklemler bu koşul için yazılmıştır.

Literatür araştırması sonucunda, Power-law akışkanlar için düşey dizi hareketleri sonucu meydana gelen sürtünme

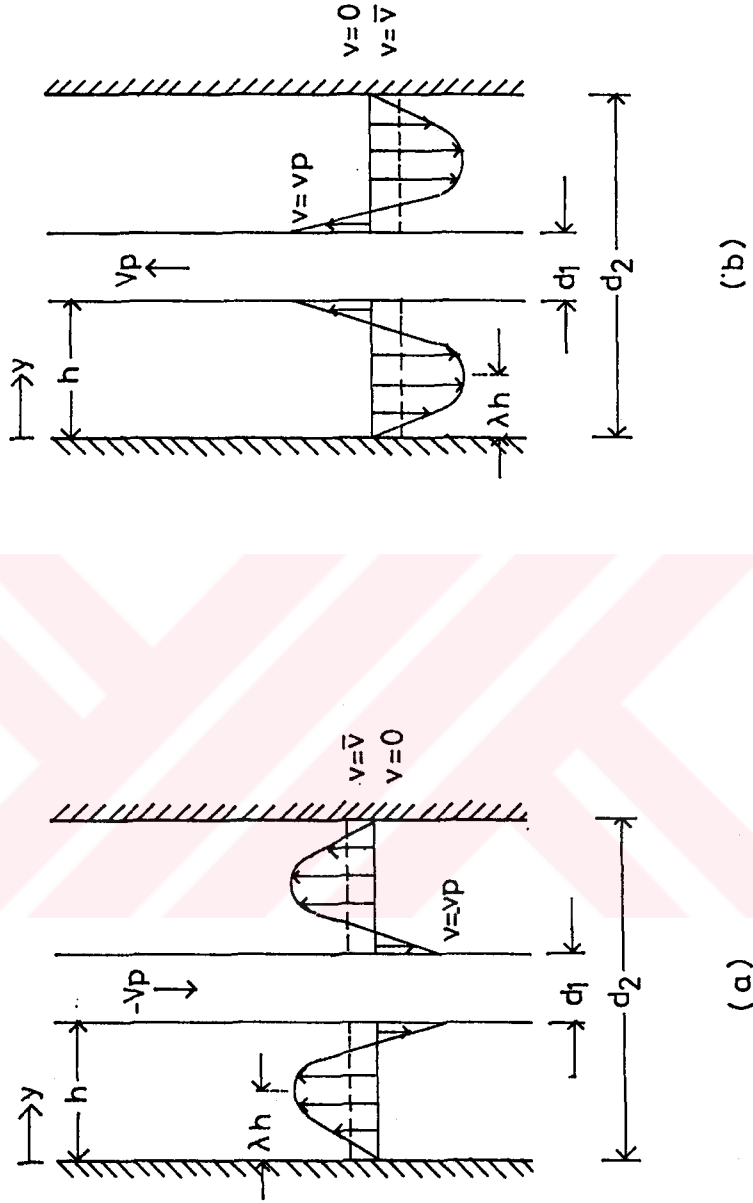
basınç kayıplarını hesaplayan bazı analitik çözüm yöntemlerinin saha uygulamaları için fazla zaman gerektirmeleri veya fazla sayıda grafikten okuma yapılması nedeniyle kullanımlarını engellediği sonucuna varılmıştır. Kullanılan diğer yöntemlerin ise genel bir çözüm olmaktan öte, özel durumları yansıtan çözümler olması [15] kullanım alanlarını sınırlayan bir model olmaktan kurtaramamıştır. Literatürde verilen ve Power-law akışkanlar için sürtünme basınç kayıplarını hesaplayan yöntem [19], tamamı ile Power-law akışkanlar için yapılmadığı için bu yöntemle elde edilen değer gerçek sonuç değildir, sadece yaklaşık değer vermektedir. Saha uygulamalarında kullanılan yöntem Dodge ve Metzner' in çalışmaları sonucu geliştirilmiştir [21]. Fakat, daha öncede belirtildiği gibi bu yöntemle elde edilen sonuç tam değil, yaklaşıktır. Bu nedenle sürtünme basınç kayıplarını hesaplayan yeni bir modele gereksinim vardır.

3. MATEMATİK MODELİN GELİŞTİRİLMESİ

Daha öncede belirtildiği gibi non-Newtonian akışkanlar için anüler geometri (silindirik) kullanarak sürtünme basınç kaybı hesaplanamamaktadır. Bu çalışmada non-Newtonian Power-law akışkanların (sondaj çamuru Power-law akışkan özelliği gösterir) sürtünme basınç kaybını hesaplamak için slot geometri kullanılmıştır. Power-law akışkan akışı için sürtünme basınç kaybını veren analitik çözüm yöntemi ile elde edilen genel çözümden yararlanarak, ikisi surge ve ikiside swab basıncı durumunda oluşan dört ayrı hız profili şekli için çözüm yapılmıştır. Bunların ikisi sadece levhanın hareket ettirilmesi sonucu oluşan surge ve swab basıncına karşı gelen durumu gösterir. Şekil 3.1. Diğer ikisi ise levhanın hareket ettirilmesine bağlı olarak aynı anda formasyondan akışkan girişi veya formasyona akışkan kaçıışı sonucu oluşan hız profiline karşı gelir. Şekil 3.2.

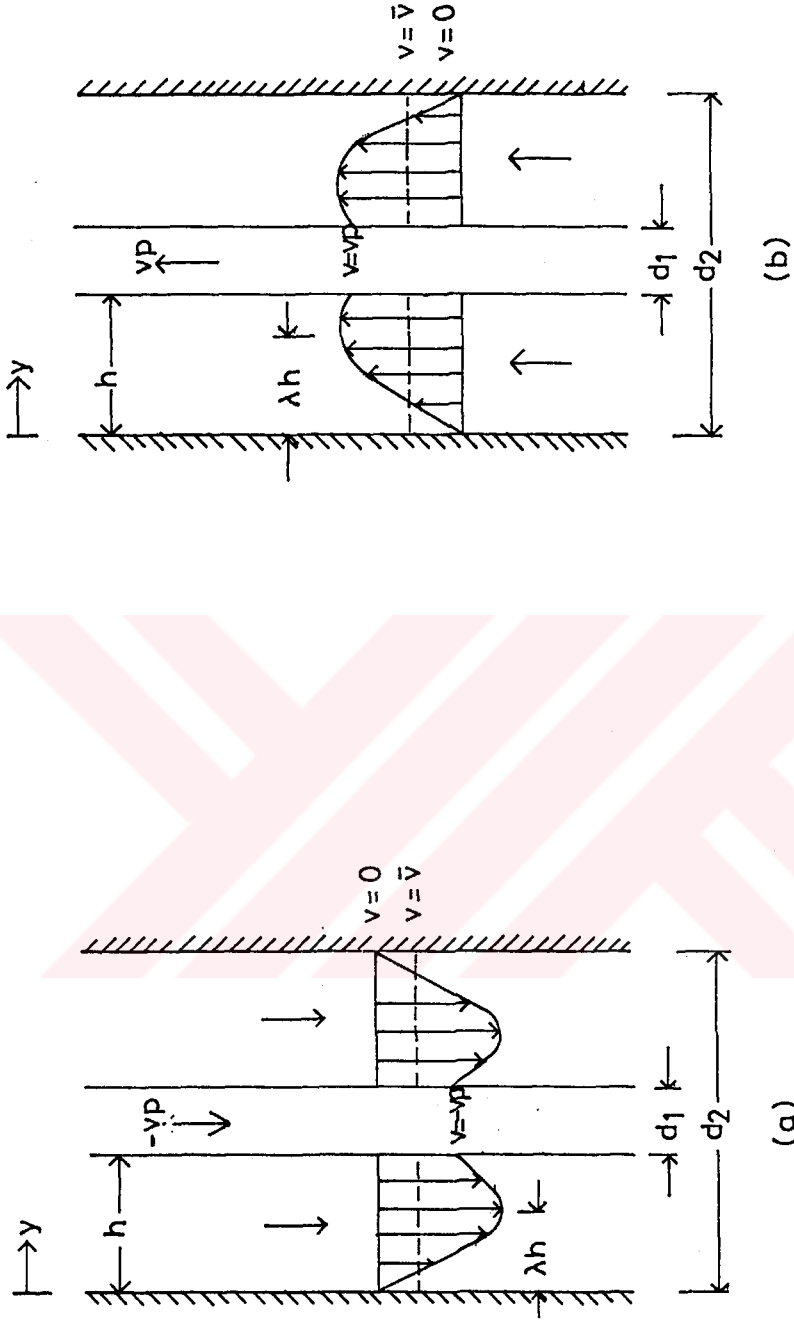
3.1 Power-law Model

Sabit bir akmaazlık değeri Newtonian akışkanları karakterize edebilirken, non-Newtonian akışkanların akmaazlığı kayma hızının fonksiyonudur. Kayma gerilmesi ve kayma hızı ilişkisi orijinden geçen ve bir doğru olan akışkanlara Newtonian ve bu ilişkiyi göstermeyen diğer tüm akışkanlara ise non-Newtonian akışkanlar denir. Bu çalışmada non-Newtonian akışkanların bazılarını tanımlayan Power-law model kullanılmıştır. Sondaj çamuru ve çimento sıvıları Power-law modele uygun reolojik davranış gösteren akışkan türleridir.[19] Bu nedenle bir kuyudaki sürtünme basınç kaybını bulmak için Power-law model kullanılabilir. Şekil 3.3 Power-law akışkan modelini grafiksel olarak göstermektedir.

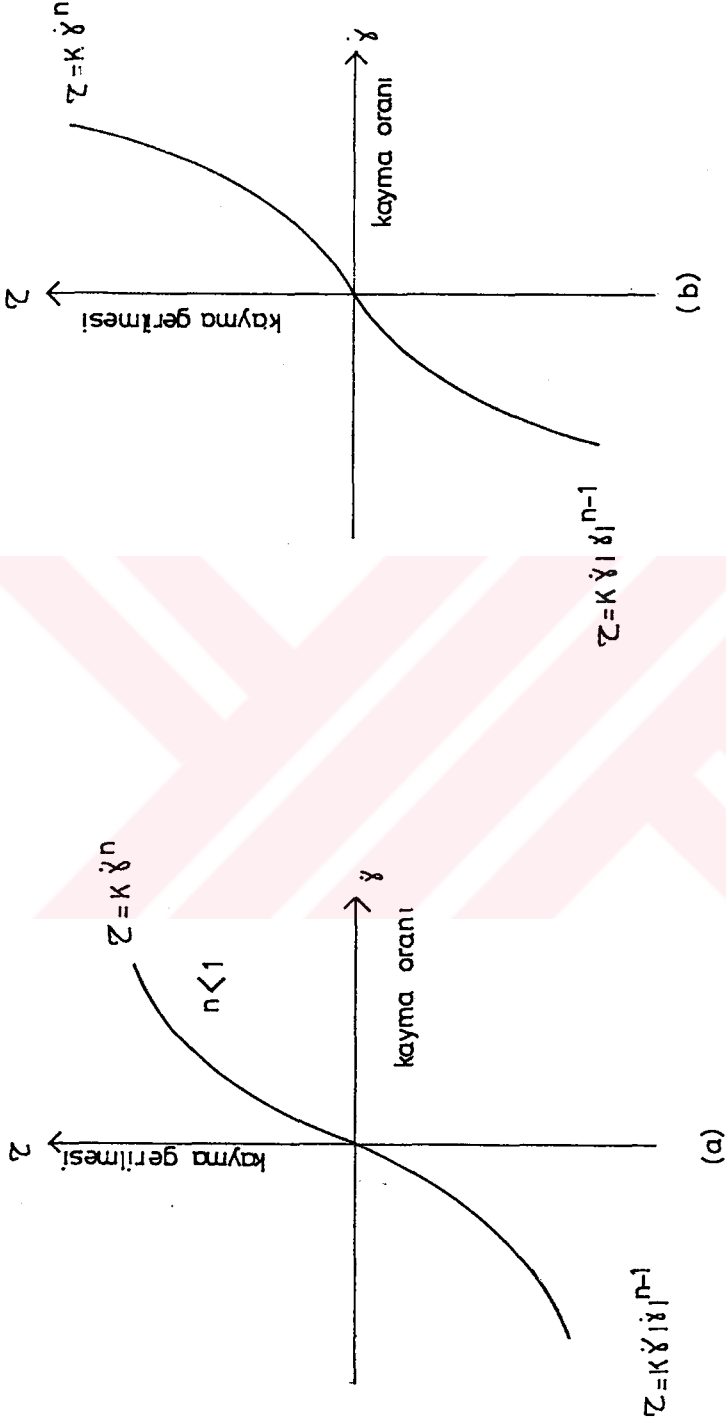


Şekil 3.1. Borunun kuyuda aşağı ve yukarı hareketi sonucu oluşan hız profilleri.

a) Surge b) Swab



şekil 3.2. Borunun kuyuda aşağı-yukarı hareketleri sırasında akışkanında pompalanması ile oluşan hız profilleri.
 a) Surge b) Swab



şekil 3.3. Power-law akışkan için kayma gerilmesi ve kayma hızı arasındaki ilişki.

- a) Pseudoplastic Power-law akışkan
- b) Dilatant Power-law akışkan

Power-law model,

$$\tau = K|\dot{\gamma}|^{n-1}\dot{\gamma} \quad (3.1)$$

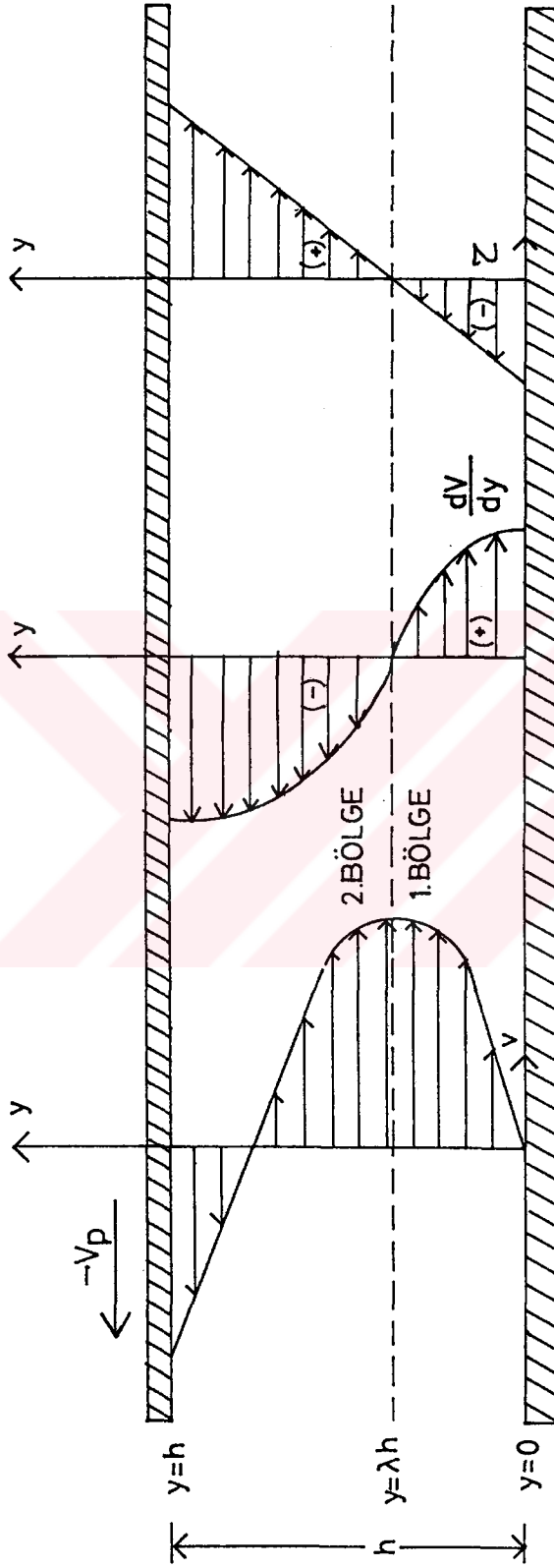
şeklinde tanımlanır. Şekil 3.3 Power-law akışkan modelini grafiksel olarak göstermektedir.

Akışkanı karakterize etmek için Power-law modelde iki parametre vardır. Bunlar kıvamlılık indeksi K (consistency index) ve akış davranış indeksi n (flow behavior index)' dir. Ancak, Power-law model $n < 1$ için pseudoplastic akışkan (sondaj çamuru, çimento, yüksek moleküler ağırlıklı polimerler, CMC, kağıt, selüloz), $n = 1$ için Newtonian akışkan ve $n > 1$ için dilatant akışkanı (şeker çözeltisi, potasyum silikat) simgeler. Boyutsuz akış davranış indeksi değerinin birden farklı olması akışkanın non-Newtonian davranış derecesini karakterize eder.[19]

3.2 İki Paralel Levha Arasındaki Power-law Akışkan Akışının Modellenmesi

Bu bölümde Power-law akışkan için levha geometrisi kullanılarak laminer akış hız profilini veren hız denklemi ve sürtünme basınç kaybını veren bağıntı Bölüm 2.2' de verilen akmazlık ve momentum dengesi kullanılarak çıkarılacaktır. Levha arasında bir akışkan elementine etkileyen kuvvetleri veren diferansiyel eşitlik denklem 2.9 ile verilmiştir. Bu diferansiyel denklemin integrasyonu için gerekli olan sabitler bağımsız değişken ile ifade edilen sınır şartının kullanılmasıyla bulunur. Bu sınır şartı; katı-sıvı arayüzeyinde akışkanın yüzey hızı ile hareket ettiği varsayılır.[20]

Levhada Power-law akışkan elementine etkiyen kuvvetler ve bunun sonucu oluşan hız profili şekil 3.4' te görülmektedir.



Şekil 3.4. İki paralel levha arasında laminar Power-law akışkan akışı.

Denklem 2.9 ile verilen sürtünme basınç kaybı gradyeni terimi dP_f/dL , y konumundan bağımsızdır. Denklem $y=0$ ve $y=h$ aralığı için integre edilirse,

$$\tau = y \frac{dP_f}{dL} + C_1 \quad (3.2)$$

elde edilir. Yukarıdaki denklemde C_1 integral sabitidir.

Levhadaki akışkan hızının maksimum olduğu nokta $y = \lambda h$ ya da kayma gerilmesinin sıfır olduğu nokta da sistemin iki bölgeye ayrıldığını varsayalım. Birinci bölge $0 \leq y \leq \lambda h$ ve ikinci bölge $\lambda h \leq y \leq h$ sınırlarını içersin. Birinci bölgede $y = 0'$ da sınır koşulu, akışkan hızının sıfır olması $V=0$, ve ikinci bölgede $y = h'$ ta sınır koşulu akışkan hızının sabit hızla hareket ettirilen levha hızına $V = -V_p$, eşit olmasıdır. $y = \lambda h'$ ta ise heriki bölge için geliştirilen hız profili denklemleri birbirine eşit olmak zorundadır. Şekil 3.4' te $y = h'$ ta hızın negatif olarak alınması sadece yön seçimiyle ilgilidir ve literatürde dizi hareketi için seçilen yönle paraleldir.

Levhalar arasındaki iki ayrı akış alanı,

1. Birinci sınır koşulunun etkilediği bölge,
 $0 \leq y \leq \lambda h$
2. İkinci bölge koşulunun etkilediği bölge,
 $\lambda h \leq y \leq h$

olarak tanımlanır.

Levha geometrisi için çözüm yapılırken, akış alanı keyfi olarak ikiye ayrılmıştır. Levha geometri kayma gerilmesinin sıfır olduğu noktadan $\tau=0$, ikiye ayrılarak, oluşan iki ayrı hız profili için hız ve debi bağıntıları geliştirilmiştir. Kayma gerilmesinin sıfır olduğu pozisyon $y=\lambda h$, üst levha hızına, akışkan özelliklerine, basınç farkına vb. etkenlere bağlı olarak değiştiğinden

bilinmemektedir. Akışın iki ayrı bölgeye ayrılması ile geliştirilecek olan iki ayrı hız profili denklemi; $y=\lambda h$ sınır noktasında birbirine eşit olacağından, ortak çözülürse, kayma gerilmesinin sıfır olduğu nokta hesaplanabilir. Böylece Power-law akışkanın biri hareketli iki levha arasındaki akışı için bir çözüm geliştirmek mümkün olmaktadır.

3.2.1. Birinci Bölge İçin Hız Profili ve Debi Bağıntısının Elde Edilmesi

Bu bölge için şekil 3.4' ten de görüleceği gibi, kayma gerilmesi τ , negatif ve kayma hızı γ , ya da açık yazılımla dv/dy pozitif değerdedir. Denklem 3.1 ile tanımlanan Power-law akışkan bağıntısı yukarıda belirtilen koşullar altında aşağıdaki şekilde yazılır.

$$\tau = K \left(-\frac{dv}{dy} \right) \left| -\frac{dv}{dy} \right|^{n-1} \quad (3.3)$$

Denklem 3.3 ile verilen eşitlik kayma hızının bu bölgedeki tanımından yararlanarak,

$$\tau = -K \left(\frac{dv}{dy} \right)^n \quad (3.4)$$

şeklinde yazılabilir. Bu denklem $0 \leq y \leq \lambda h$ aralığındaki bölgede geçerlidir.

Denklem 3.2' deki integral sabiti C_1 ' i elde etmek için kayma gerilmesinin sıfır olduğu $y=\lambda h$ değeri sınır şartıdır ve bu sınır şartı denklemde uygulanırsa integral sabiti C_1 ,

$$C_1 = -\lambda h \frac{dP_f}{dL} \quad (3.5)$$

elde edilir ve bu integral sabiti yeniden denklem 3.2' de yerine koyulursa kayma gerilmesi τ ,

$$\tau = (y - \lambda h) \frac{dP_f}{dL} \quad (3.6)$$

olur. Denklem 3.6, levha arasındaki akış için herhangi bir y konumu için kayma gerilmesini sürtünme basınç gradyanına bağlı olarak verir.

Denklem 3.4 ile verilen kayma gerilmesi eşitliği denklem 3.6' da yerine koyulur ve gerekli düzenleme yapıldıktan sonra integre edilirse,

$$V_1 = \frac{(y - \lambda h)^{(1 + \frac{1}{n})} \left(-\frac{1}{K} \frac{dP_f}{dL} \right)^{\frac{1}{n}}}{(1 + \frac{1}{n})} + C_2 \quad (3.7)$$

C_2 integral sabitine bağlı, hız profili denklemi bulunur.

Yukarıdaki denklemde $y=0$ konumu için sabit levhada, hızı $V=0$ koyarak çözülürse aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$C_2 = - \frac{(-\lambda h)^{(1 + \frac{1}{n})} \left(-\frac{1}{K} \frac{dP_f}{dL} \right)^{\frac{1}{n}}}{(1 + \frac{1}{n})} \quad (3.8)$$

yukarıda elde edilen denklem, denklem 3.7 ile verilen hız ifadesinde yerine yazılırsa, birinci bölge için hız profilini veren denklem $0 \leq y \leq \lambda h$ aralığı için aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$V_1 = \frac{\left(\frac{1}{K} \frac{dP_f}{dL} \right)^{\frac{1}{n}}}{(1 + \frac{1}{n})} [(\lambda h)^{(1 + \frac{1}{n})} - (\lambda h - y)^{(1 + \frac{1}{n})}] \quad (3.9)$$

Yukarıda verilen hız denklemini bu bölgedeki debi cinsinden, hız-debi arasındaki ilişkiyi kullanarak elde edebiliriz. Bu ilişki,

$$q = VdA = VWdy \quad (3.10)$$

şeklindedir ve denklem 3.9 için uygulanırsa, birinci bölge için debi bağıntısı,

$$q_1 = \frac{\left(\frac{1}{K} \frac{dP_f}{dL}\right)^{\frac{1}{n}}}{\left(2 + \frac{1}{n}\right)} Wh^{(2+\frac{1}{n})} \lambda^{(2+\frac{1}{n})} \quad (3.11)$$

olarak elde edilir.

3.2.2. İkinci Bölge İçin Hız Profili ve Debi Bağıntısının Elde Edilmesi

Bu bölge için de birinci bölgedeki çözüm yöntemi prosedürü uygulanarak hız profili ve debi bağıntıları elde edilir. Burada şekil 3.4' ten de görülebileceği gibi kayma gerilmesi pozitif ve kayma hızı negatif değerdedir. Bu koşullar altında denklem 3.3 kayma gerilmesi için,

$$\tau = K \left(-\frac{dv}{dy}\right)^n \quad (3.12)$$

şeklinde yazılır.

Denklem 3.1' de tanımlanan kayma gerilmesi denklem 3.6 kullanılarak ikinci bölgedeki hız profili bağıntısı için çözülürse,

$$V_2 = \frac{(y - \lambda h)^{(1+\frac{1}{n})} \left(-\frac{1}{K} \frac{dP_f}{dL}\right)^{\frac{1}{n}}}{\left(1 + \frac{1}{n}\right)} + C_3 \quad (3.13)$$

olarak bulunur. Birinci bölgedekine benzer şekilde ikinci bölge için integral sabiti C_3 , bu bölge için geçerli olan $y=h'$ daki sınır koşulu olan akışkan hızının levha hızına eşit olması yani $V = -V_p$ için çözülerek elde edilir.

$$C_3 = -V_p + \frac{(h-\lambda h)^{(1+\frac{1}{n})} (\frac{1}{K} \frac{dP_f}{dL})^{\frac{1}{n}}}{(1+\frac{1}{n})} \quad (3.14)$$

Yukarıdaki eşitlikle verilen integral sabiti denklem 3.13' te yerine yazılırsa, ikinci bölge için hız profilini veren ifade,

$$V_2 = \frac{(\frac{1}{K} \frac{dP_f}{dL})^{\frac{1}{n}}}{(1+\frac{1}{n})} [(h-\lambda h)^{(1+\frac{1}{n})} - (y-\lambda h)^{(1+\frac{1}{n})}] - V_p \quad (3.15)$$

bu bölgenin geçerli olduğu $\lambda h \leq y \leq h$ aralığı için elde edilir.

Denklem 3.10 ile verilen debi tanımından yararlanarak bu bölgedeki debi,

$$q_2 = \frac{(\frac{1}{K} \frac{dP_f}{dL})^{\frac{1}{n}}}{(2+\frac{1}{n})} W h^{(2+\frac{1}{n})} (1-\lambda)^{(2+\frac{1}{n})} - W V_p h (1-\lambda) \quad (3.16)$$

olarak bulunur.

3.2.3. Bütün Sistem İçin Debi-Sürtünme Basınç Kaybı Gradyeni İlişkisi

Şekil 3.4 ile verilen levha arasındaki akışkan akışı için toplam debi, sistemi oluşturan her iki bölge için elde edilen debilerin toplamına eşittir.

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad (3.17)$$

Denklem 3.10 ve 3.16 ile verilen debi denklemleri yukarıda verilen toplam debi ifadesinde yerine yazılırsa, bütün slot için toplam debi,

$$q = \frac{\left(\frac{1}{K} \frac{dP_f}{dL}\right)^{\frac{1}{n}}}{\left(2 + \frac{1}{n}\right)} Wh^{(2+\frac{1}{n})} [(1-\lambda)^{(2+\frac{1}{n})} + \lambda^{(2+\frac{1}{n})}] - WV_{ph}(1-\lambda) \quad (3.18)$$

olarak elde edilir.

Toplam debiyi veren yukarıdaki eşitlikte, denklem 2.1 ve 2.2 ile verilen levhalar arasındaki alan ve yükseklik tanımları kullanılırsa, levha geometrisinin yerine eşdeğer anüller geometrideki toplam debi aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$q = \frac{\pi \left(\frac{1}{K} \frac{dP_f}{dL}\right)^{\frac{1}{n}}}{\left(2 + \frac{1}{n}\right)} (r_2^2 - r_1^2) (r_2 - r_1)^{(2+\frac{1}{n})} [(1-\lambda)^{(2+\frac{1}{n})} + \lambda^{(2+\frac{1}{n})}] - \pi V_p (r_2^2 - r_1^2) (1-\lambda) \quad (3.19)$$

Denklem 3.19 anülüsteki dizi hareketinden ve varsa pompalanan sıvıların meydana getirdiği akışkan akışı sonucu oluşan debi-basınç kaybı ilişkisini verir. Anülüsteki toplam debi, akışkan hız profilini simgeleyen ortalama hız değeri kullanılarak elde edilebilir. Bu durumda debiyi veren eşitlik,

$$q = \pi (r_2^2 - r_1^2) \bar{V} \quad (3.20)$$

olarak tanımlanır.

3.2.4. Bütün Sistem İçin Sürtünme Basınç Kaybı Gradyeninin Hesaplanması

Bir önceki bölümde denklem 3.19 ve 3.20 ile verilen debiler birbirine eşitlenir ve elde edilen ifade ortalama hız terimi için çözülürse,

$$\bar{V} = \frac{\left(\frac{1}{K} \frac{dP_f}{dL}\right)^{\frac{1}{n}}}{\left(2 + \frac{1}{n}\right)} (r_2 - r_1)^{\left(1 + \frac{1}{n}\right)} \left[(1 - \lambda)^{\left(2 + \frac{1}{n}\right)} + \lambda^{\left(2 + \frac{1}{n}\right)} \right] - V_p (1 - \lambda) \quad (3.21)$$

elde edilir.

Yukarıda verilen denklemde $h = r_2 - r_1$ tanımı kullanılarak sürtünme basınç kaybı gradyeni için çözülürse,

$$\frac{dP_f}{dL} = \frac{K}{h^{(n+1)}} \left[\frac{(\bar{V} + V_p (1 - \lambda)) \left(2 + \frac{1}{n}\right)}{\lambda^{\left(2 + \frac{1}{n}\right)} + (1 - \lambda)^{\left(2 + \frac{1}{n}\right)}} \right]^n \quad (3.22)$$

elde edilir.

Elde edilen son denklem, Power-law akışkan için anülüsteki dizi hareketleri nedeniyle oluşan sürtünme basınç kaybı gradyenini hesaplar. Bu denklem saha birimlerinde aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\frac{dP_f}{dL} = \frac{K}{2^{(n+1)} 144000} \frac{\left[(\bar{V} + V_p (1 - \lambda)) \left(\frac{2 + \frac{1}{n}}{0.0208}\right) \right]^n}{(d_2 - d_1)^{(n+1)} \left[\lambda^{\left(2 + \frac{1}{n}\right)} + (1 - \lambda)^{\left(2 + \frac{1}{n}\right)} \right]^n} \quad (3.23)$$

Denklem 3.22' de basınç gradyenini bulmak için bilinmeyen tek parametre kayma gerilmesinin sıfır olduğu noktaya karşı gelen λ' dir. Bu parametre $0 \leq \lambda \leq 1$ aralığında olan boyutsuz bir sayıdır ve aşağıdaki eşitlik sadece kayma gerilmesinin sıfır olduğu konumda geçerlidir.

$$\lambda = \frac{y}{h} \quad (3.24)$$

3.2.5. λ' nın Bulunması

Şekil 3.3' ten de görülebileceği gibi levhadaki iki bölge için bulunan hız profili denklemleri, iki bölgenin birleştiği yerde diğer bir ifadeyle $y=\lambda h$ değerinde birbirlerine eşittir. Denklem 3.9 ve 3.15 ile verilen hız profili denklemleri bu sınır koşulu için eşitlenirse, λ' yı veren ifade,

$$\lambda^{(1+\frac{1}{n})} - (1-\lambda)^{(1+\frac{1}{n})} = - \frac{V_p(1+\frac{1}{n})}{h^{(n+1)} (\frac{1}{K} \frac{dP_f}{dL})^{\frac{1}{n}}} \quad (3.25)$$

olarak bulunur.

Yukarıdaki eşitlik sürtünme basınç kaybı gradyeni için çözülürse aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\frac{dP_f}{dL} = \frac{K}{h^{(n+1)}} \frac{[V_p(1+\frac{1}{n})]^n}{[(1-\lambda)^{(1+\frac{1}{n})} - \lambda^{(1+\frac{1}{n})}]^n} \quad (3.26)$$

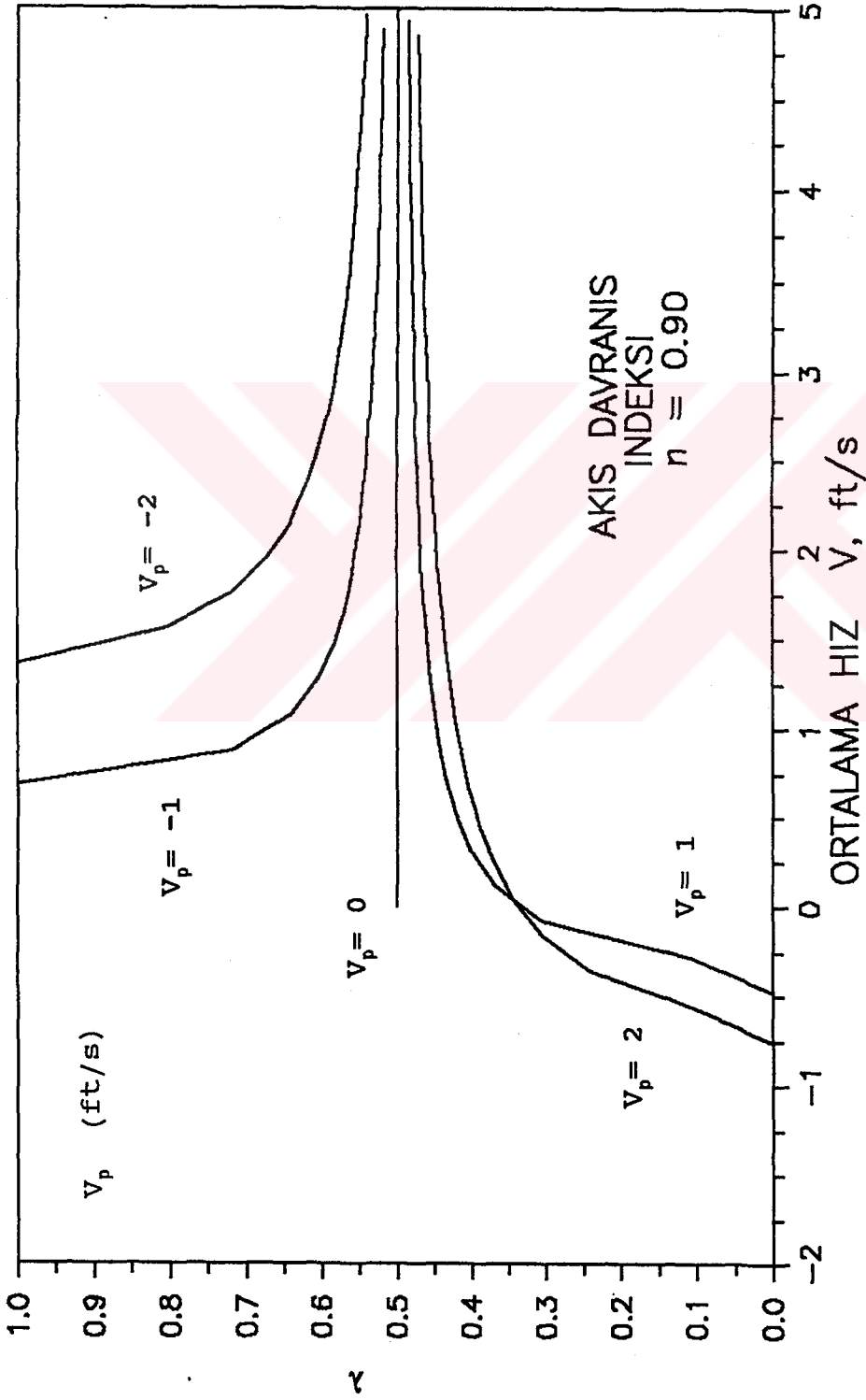
Levhalar arasında kesit boyunca sürtünme basınç kaybı gradyeni değeri sabit olduğu için denklem 3.22, yukarıda verilen denklem 3.26' ya eşitlenirse, λ' yı ortalama hız, dizi hızı ve akış davranış indeksine bağlı olarak veren denklem elde edilir.

$$\lambda = [(1-\lambda)^{(1+\frac{1}{n})} - \frac{V_p(1+\frac{1}{n}) [\lambda^{(2+\frac{1}{n})} + (1-\lambda)^{(2+\frac{1}{n})}]}{[\bar{V} + V_p(1-\lambda)] (2+\frac{1}{n})}]^{(\frac{n}{n+1})} \quad (3.27)$$

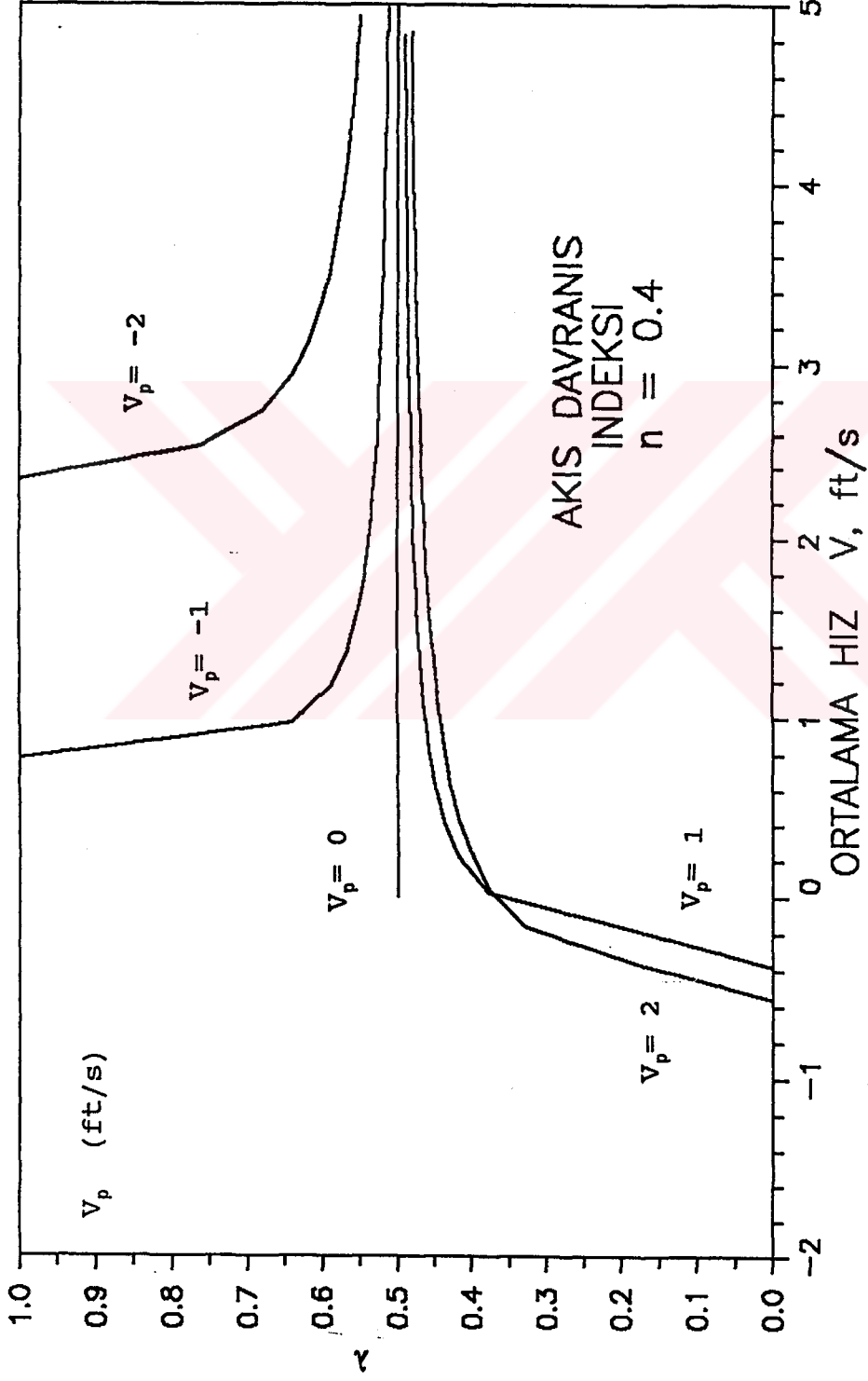
Yukarıda denklem 3.27 ile verilen eşitlikte λ parametresi anülüs açıklığından ve akmaazlık parametresinden bağımsızdır. λ' yı veren denklemin her iki tarafındada λ yeraldığından bir bilgisayar programı ile iterasyon yaparak λ değerleri hesaplanır. Surge basıncı hesaplamalarında

tahmini λ' nın 0 ile 0.5 arasında, swab basıncı hesabında 0.5 ile 1.0 arasında seçilmesi iterasyonun daha çabuk yakınsamasını neden olacaktır. Bu denklemde, λ hesabı yapılmaya çalışılırken denklemin sağındaki λ' lar için tahmini bir λ değeri kullanılarak denklem 3.27' nin solundaki λ hesaplanmış ve bu hesaplama tahmini λ ile hesaplanan λ değerleri birbirlerine yakınsayınca kadar iterasyona devam edilmiştir. Bu denklemde yer alan beş adet λ parametresinden herhangi birisi için çözüm yapılabilirse, yapılan denemelerde yukarıdaki formun diğerlerine göre daha kolaylıkla yakınsadığı gözlenmiştir. Diğer bazı λ parametreleri için yapılan çözümde ortalama hız $\bar{V}$ ve boru hızının V_p sıfır olması durumunda yakınsamanın olmadığı görülmüştür. Akış davranış indeksi n' in 0.9 ve 0.4 olması durumunda ortalama hız $\bar{V}$, değişik dizi hızı V_p değerlerine karşı gelen λ grafikleri şekil 3.5 ve şekil 3.6' da görülmektedir. Diğer akış davranış indeksi n , değerlerine karşı gelen grafikler Ek-A' da verilmiştir.

Denklem 3.27 ile verilen λ ifadesi şekil 3.1 ile verilen hız profillerinin elde edilmesinde rahatlıkla kullanılmasına rağmen, şekil 3.2 ile verilen hız profillerinin elde edilmesinde kullanılabilmesi belli bir koşula bağlıdır. Bu koşul şekil 3.2 ile verilen hız profillerinde her zaman için sıfırdan farklı bir değere sahip bir ortalama hızın varolmasıdır. Bu nedenle bu durumlara karşı gelen hız profillerini bulmak için minimum bir ortalama hız değerinin bulunması gerekmektedir.



Şekil 3.5. $n=0.9$ için λ grafiği.



Şekil 3.6. $n=0.4$ için λ grafiği.

3.2.6. Minimum Ortalama Hız

Minimum ortalama hız, $\lambda=1$ olduğu zaman yani, akışın tamamen levhanın veya borunun hareketi nedeniyle ortaya çıkan özel bir durumdur.

Denklem 3.9 ile verilen hız bağıntısı $\lambda=1$ için hız profilini veren bir bağıntıdır. Bu durum için birinci bölge için bulunan hız profili denklemi sınır koşulu uygulanarak yazılırsa,

$$V = \frac{\left(\frac{1}{K} \frac{dP_f}{dL}\right)^{\frac{1}{n}}}{\left(1 + \frac{1}{n}\right)} \left[h^{\left(1 + \frac{1}{n}\right)} - (h-y)^{\left(1 + \frac{1}{n}\right)} \right] \quad (3.28)$$

elde edilir ve sınır koşulundan da anlaşılacağı üzere bu hız profili denklemi bütün levha için kullanılabilir. Denklem 3.28 için swab durumuna karşı gelen sınır koşulu olan $y=h$ için $V = V_p$ uygulanırsa,

$$V_p = \frac{\left(\frac{1}{K} \frac{dP_f}{dL}\right)^{\frac{1}{n}}}{\left(1 + \frac{1}{n}\right)} h^{\left(1 + \frac{1}{n}\right)} \quad (3.29)$$

levha hızını veren eşitlik elde edilir.

Yukarıda denklem 3.28 ile verilen ve bütün levha için hız profilini veren hız denklemi denklem 3.10 ile tanımlanan debi cinsinden yazılır ve y için integre edilirse, bütün levhadaki toplam debi,

$$Q = \left(\frac{2n+1}{n}\right) \left(\frac{1}{K} \frac{dP_f}{dL}\right)^{\left(\frac{1}{n}\right)} W h^{\left(2 + \frac{1}{n}\right)} \quad (3.30)$$

olarak elde edilir.

Levha içerisinde levha hareketi nedeniyle oluşan akışkan akışı için ortalama hız,

$$\bar{V} = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{Wh} \quad (3.31)$$

şeklinde tanımlanır ve bu tanım denklem 3.31 için uygulanırsa,

$$\bar{V}_{\min} = \left(\frac{n}{2n+1} \right) \left(\frac{1}{K} \frac{dP_f}{dL} \right)^{\left(\frac{1}{n} \right)} h^{\left(1 + \frac{1}{n} \right)} \quad (3.32)$$

ile verilen minimum ortalama hız denklemi elde edilir. Ancak, bu denklemdeki sürtünme basınç kaybı gradyeni bilinmediğinden minimum hızı bulmak için hemen kullanılamaz. Bu nedenle minimum hız denklemi sınır şartı için bulunan denklem 3.29 ile birlikte çözülerek elde edilir. Denklem 3.29 ve 3.32 akma, sürtünme basınç kaybı ve levha açıklığı parametrelerini veren ifade için çözülür ve heriki denklem için bulunan ifade eşitlenirse; swab durumuna karşı gelen ortalama hız değeri,

$$\bar{V}_{\min} = \frac{(n+1)}{(2n+1)} V_p \quad (3.33)$$

olarak bulunur.

Surge durumu için minimum ortalama hız ifadesini veren denklem, swab durumundaki prosedür yine birinci bölge için daha önce bulunan hız profili denklemine sınır koşulu olarak $y = h$ için $V = - V_p$ uygulanırsa,

$$V_p = - \frac{\left(\frac{1}{K} \frac{dP_f}{dL} \right)^{\frac{1}{n}}}{\left(1 + \frac{1}{n} \right)} h^{\left(1 + \frac{1}{n} \right)} \quad (3.34)$$

levhanın hızını veren denklem elde edilir. Aynı işlemler surge durumu için swab işlemindekine benzer şekilde takip edilerek yapılırsa minimum ortalama hız denklemi,

$$\bar{V}_{\min} = - \frac{(n+1)}{(2n+1)} V_p \quad (3.35)$$

olarak bulunur.

Denklem 3.33 ve denklem 3.35 ile verilen surge ve swab basıncı durumu için minimum ortalama hız ifadesinin levhanın veya dizinin hızı ve akış davranış indeksinin fonksiyonu olduğu görülür. Açıkça görüleceği gibi, minimum ortalama hız değeri kolayca bulunabilir.

Buraya kadar geliştirilen denklemler yardımıyla Power-law akışkan akışı için şekil 3.1 ve şekil 3.2 ile verilen özel durumlar, denklem 3.33 ve denklem 3.35 koşulu gözönüne alınarak denklem 3.27 ile verilen kayma gerilmesinin sıfır olduğu noktayı veren λ değeri, akış davranış indeksi, dizi hareket hızı, ve ortalama hız değerine bağlı olarak bilgisayar programı yardımıyla elde edilir. Bulunan λ değeri denklem 3.23 ile verilen bağıntıda yerine koyulursa surge veya swab basınçlarını veren sürtünme basınç kaybı gradyeni elde edilir.

Denklem 3.27 kullanılarak elde edilen λ grafikleri Ek-A' da verilmiştir. Grafiklerden akış davranış indeksinin n , 0.1 ve 1.0 arasındaki 0.1' lik artış değerlerine karşı gelen, ayrıca dizi hızının V_p , surge ve swab için 0-1 ve 2 ft/sn. değerleri ve ortalama hızın $\bar{V}$, -2 ile 5 ft/sn. aralığındaki değerine karşı gelen λ değerleri bulunur.

Burada boru hızı V_p , ortalama hız $\bar{V}$ ile λ' nın nasıl değiştiği yalnızca bu tezde geliştirilen çözümün literatürde var olan çözümlerden [9],[15],[19] ne kadar farklı olduğunu göstermesi açısından önemlidir. Asıl önemli olan sürtünme basınç kayıplarının doğru olarak hesaplanmasıdır. λ literatür yöntemlerde hesaplanmayarak, ortalama hız $\bar{V}$ ve boru hızı V_p ' den bağımsız olduğu ve 0.5 değerine eşit olduğu varsayılmıştır.

4. MODELİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada sondajda manevra sırasında dizi hareketlerinin neden olduğu akışkan akışı sonucu oluşan sürtünme basınç kayıplarını surge-swab için hesaplayan yeni bir denklem geliştirilmiştir.

Literatürde [9],[19],[21] Power-law akışkan için sürtünme basınç kayıplarını hesaplayan yöntemlerde, Newtonian akışkan için geliştirilmiş olan ve denklem 2.22 ile verilen sürtünme basınç kaybı gradyeni denkleminde akmaazlık terimi Power-law akışkan için tanımlanır ve bu tanımdan elde edilen akmaazlık değeri denklem 2.22' de kullanılarak basınç kaybı gradyeni elde edilir. Literatürde [19],[21] Power-law akışkan için görünür akmaazlık parametresi,

$$\mu_a = \frac{K(d_2 - d_1)^{(1-n)}}{144 \bar{V}^{(1-n)}} \left[\frac{2 + \frac{1}{n}}{0.0208} \right]^n \quad (4.1)$$

ile verilir. Bu eşitlik, denklem 2.22 ile verilen Newtonian akışkanlar için geliştirilmiş sürtünme basınç kaybı denkleminde yerine yazılırsa, literatürde Power-law akışkanların sürtünme basınç kayıplarını bulmak için kullanılan [19],[21]

$$\left(\frac{dP_f}{dL} \right)_{literatür} = \frac{K}{144000} \frac{[(\bar{V} + 0.5 V_p) \left(\frac{2 + \frac{1}{n}}{0.0208} \right)]^n}{(d_2 - d_1)^{(n+1)}} \quad (4.2)$$

denklem elde edilir.

Yukarıdaki denklem Newtonian akışkanlar için geliştirildikten sonra görünür akmaazlık terimi ile

birleştirildiğinden Power-law akışkanlar için sürtünme basınç kayıplarını yaklaşık olarak hesaplamaktadır. Denklem 4.2 ile verilen eşitlik bu çalışmada geliştirilen denklem 3.22 ile karşılaştırılarak bir hata hesaplanabilir. Bu hata,

$$E = \frac{\left(\frac{dP_f}{dL}\right)_{literatür} - \left(\frac{dP_f}{dL}\right)}{\left(\frac{dP_f}{dL}\right)} * 100 \quad (4.3)$$

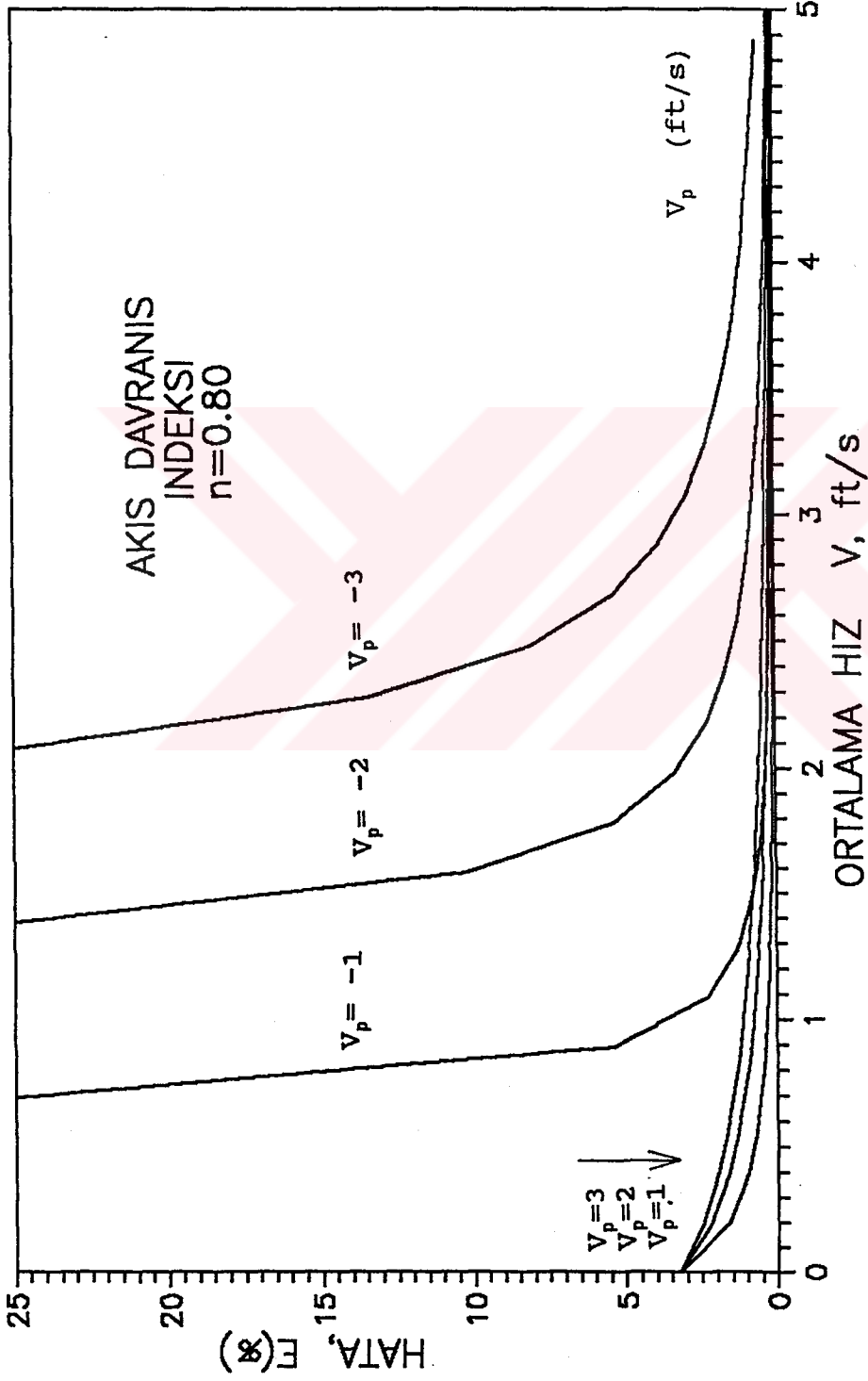
olarak tanımlanan denklem ile elde edilir.

Denklem 4.3 ile verilen hata , ortalama hız $\bar{V}$, dizi hızı V_p , akış davranış indeksi n' 'in 0.8 ve 0.3 değerleri için ve λ' nın fonksiyonu olarak şekil 4.1 ve 4.2' de görülmektedir. Akış davranış indeksi n' in diğer farklı değerleri için grafikler Ek-B bölümünde grafiksel olarak verilmiştir. Şekil 4.1 ve 4.2' den de görülebileceği gibi ortalama hızın sıfırdan küçük değerleri için literatürde verilen denklem 4.2' nin hesap yapamaması nedeniyle basınç oranları sıfırdan büyük ortalama hız değerleri için elde edilmiştir. Oysa geliştirilmiş olan denklem ortalama hızın sıfırdan küçük değerleri içinde hesap yapabilmektedir.

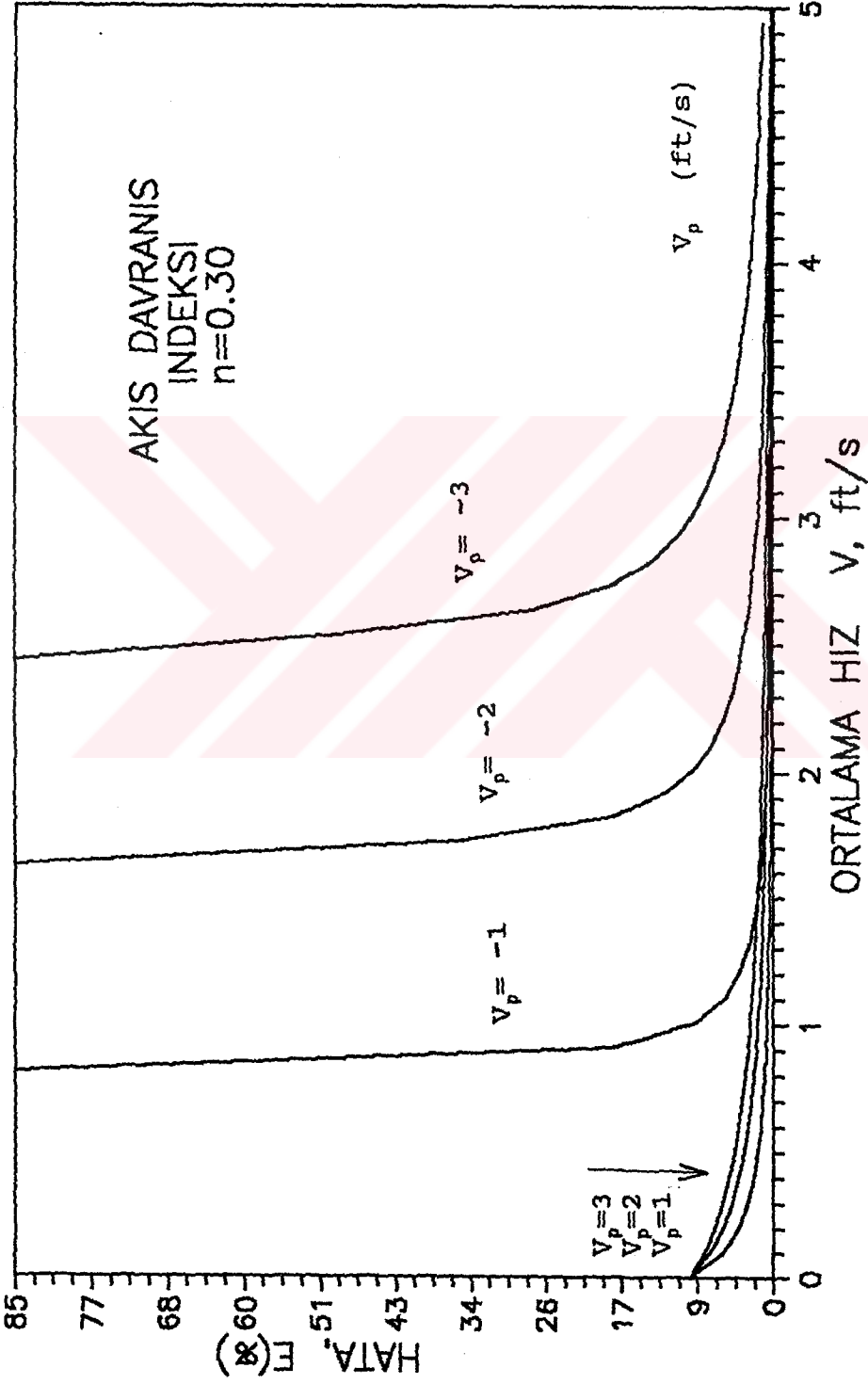
Akış davranış indeksinin n , bir olması durumunda oranın her hız değeri için bire eşit olması heriki denklemin aynı basınç kaybı değerini verdiğini gösterir. Unutmamak gerekir ki n' in bire eşit olması akışkanın Power-law akışkan değil Newtonian olmasına karşı gelir. Bu ise geliştirilen basınç kaybı denkleminin Newtonian akışkanlar içinde kullanılabileceğini gösterir. Akış davranış indeksinin n , birden küçük değerleri ki bu durumda akışkan Power-law özellik gösterir, hesaplanan basınç oranlarında bir fark olur ve geliştirilen denklemin daha küçük bir sürtünme basınç kaybı gradyeni değeri verdiği ortaya çıkar. Özellikle düşük ortalama hız değerlerinde hesaplanan hata değerinin büyük olması ilgi çekicidir. Bu

durumda denklem 4.2' nin kullanılması ile elde edilen basınç kaybı değerlerinin, gerçek basınç kaybı değerinden oldukça büyük olduğu ortaya çıkar. Bunun anlamı, basınç kaybı değeri büyük ise bu basıncın oluşturabileceği sorunları elimine etmek için manevra hızlarının daha düşük tutulması dolayısıyla, zaman kaybının fazla olması buna bağlı olarak sondaj maliyetinde artmasıdır. Oysa gerçekte basınç kaybı değeri daha düşüktür yani, daha yüksek manevra hızları ile çalışılmalıdır. Diğer bir deyişle, saha uygulamalarında daha fazla zaman harcanmakta ve buna bağlı olarak sondaj maliyeti daha yüksek değerde olmaktadır.





Şekil 4.1 $n=0.8$ için hata grafiği.



şekil 4.2 $n=0.3$ için hata grafiği.

SONUÇLAR

Bu çalışmada, Power-law akışkanlar için sürtünme basınç kayıpları anüler geometri kullanılarak analitik çözüm elde edilemediğinden, iki paralel levha arasındaki Power-law akışkan akışı için slot geometri kullanılarak analitik çözüm elde edilmiştir. Çalışmada birisi sabit hızla hareket eden iki paralel levha arasındaki (slot) Power-law akışkan akışının neden olduğu sürtünme basınç kayıplarını hesaplayan yeni bir analitik çözüm geliştirilmiştir. Geliştirilen çözüm ile sondajda manevra sırasında düşey dizi hareketlerinin neden olduğu surge-swab basınçlarını hesaplayan denklem elde edilmiştir.

Basınç kayıplarını hesaplayan denklem, literatürde verilen ve uygulamada kullanılan denklem ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda, akış davranış indeksinin n' in bir olması durumunda aynı basınç kaybı değerlerini verdiği görülmüştür. Bu literatürde kullanılan denklemin temel olarak Newtonian akışkanlar için geliştirilmiş olması nedeni ile beklenen sonuçtur. Geliştirilmiş olan denklem de akış davranış indeksinin n , bire eşit olması durumunda Newtonian akışkanlar için literatürde verilen basınç kaybı denklemini veren ifadeye dönüştüğü ve bu durumda denklemin sadece non-Newtonian Power-law akışkanlar için değil aynı zamanda n' in bire eşit olması durumunda ki bu durumda akışkan Newtonian özellik gösterir, Newtonian akışkanlar içinde kullanılabileceğini göstermektedir.

Karşılaştırma sonucunda, saha uygulamalarında kullanılan yöntem ile elde edilen sonuçların daha büyük basınç kaybı gradyeni verdiği görülmüştür. Yani günümüz sondaj uygulamalarında zaman ve maliyet kaybı sözkonusudur. Bunun sonucu olarak, surge-swab sorunu ile karşılaşmamak

için manevra düşük hızlarda yapılmaktadır. Bu ise zaman kaybı ve daha fazla maliyetle sondajı sonuçlandırmaktır. Bu çalışmada geliştirilen denklem ile elde edilecek gerçek basınç kaybı gradyeninin kullanılmasıyla, sondajda manevra zamanının azalmasının yanısıra, sondajın daha kısa sürede ve daha düşük maliyetle tamamlanması sağlanacaktır.

Akış davranış indeksinin n , farklı değerleri için saha uygulamalarında kullanılan yöntemle yapılan surge ve swab hesaplarındaki hatayı içeren grafikler elde edilmiştir. Akış davranış indeksi n , değerinin birden küçük olması durumunda, uygulamada kullanılan denklem sonuçlarının daha büyük basınç kaybı değerleri vermesinin yanısıra, aralarında bir farkın da olduğu görülmüştür. Ortalama hız $\bar{V}$ değerinin küçük olduğu değerlerde hata, özellikle swab basınçları için n' in değerine bağlı olarak yüzde yetmişler mertebesinde olduğu gösterilmiştir. Literatürde verilen çözüm yöntemi ile negatif ortalama hız değerleri için sürtünme basınç kayıplarının hesaplanamaması nedeniyle ortalama hızın $\bar{V}$, sıfırdan küçük olduğu değerlerinde surge basıncı hesaplarında yapılan hata değeri elde edilememiştir.

Dizi veya levha hareket hızının V_p , büyük değerleri için sürtünme basınç kaybı gradyeninde büyük olduğu görülmüştür. Ayrıca, büyük ortalama hız değerlerinde heriki denklem ile hesaplanan hata değerlerinin birbirine yakın sonuçlar verdiği elde edilmiştir.

Literatürde verilen ve Petrol Mühendisliği uygulamalarında kullanılan basınç kaybını veren ifade bu çalışmada verilen özel durumlar için çözüm yapamamaktadır. Oysa, bu çalışmada yapılan analitik çözüm sonucunda elde edilen sürtünme basınç kaybı gradyeni denklemi negatif ortalama hız değerleri içinde surge basınçlarını hesaplamaktadır.

Günümüzde, bilgisayarın özellikle petrol endüstrisinde her alanda yer alması, bu çalışmada geliştirilmiş olan sürtünme basınç kaybı gradyeni denkleminin saha uygulamalarında da kolaylıkla kullanılmasını sağlayacaktır.



SİMGELER

A	: Alan
d	: Çap (dizi veya anülüs)
F	: Kuvvet
E	: Hata
h	: Anülüs veya levhalar arası açıklık
K	: Kıvamlılık indeksi
L	: Dizi veya sondaj kuyusu uzunluğu
n	: Akış davranış indeksi
P	: Basınç
q	: Debi
r	: Yarıçap (dizi veya anülüs)
V	: Hız
W	: Levha uzunluğu
x	: Akışkanın akış yönü
y	: Akış elementinin anülüs veya levhadaki konumu
Δ	: Toplam
λ	: Kayma gerilmesinin sıfır olduğu pozisyon
γ	: Kayma hızı
μ	: Akmazlık
τ	: Kayma gerilmesi

Alt indisler

f	: Sürtünme
p	: Dizi veya levha
1	: Sondaj dizisinin dış çapı
2	: Koruma borusunun iç çapı veya kuyu çapı

Üst indisler

-	: Ortalama
o	: Başlangıç

SI METRİK DÖNÜŞÜM FAKTÖRLERİ

bb1	* 1.589873	E-01 = m ³
cp	* 1.0	E-01 = Pa.s
ft	* 3.048	E-01 = m
in.	* 2.54	E-00 = cm
lbm/sq ft	* 4.882428	E-00 = kg/m ²
lbf/sq ft	* 4.788026	E-02 = kPa
psi	* 6.894757	E-00 = kPa
psi/ft	* 2.262059	E+01 = kPa/m
dyne/cm ²	* 1.0	E-02 = mN/cm ²

Değişken	Saha Birimi
-----	-----

A	:	ft ²
d ₁ , d ₂	:	inç
dP _f /dL	:	psi/ft
h	:	inç
K	:	eq. cp
n	:	boyutsuz
q	:	bb1/gün
r ₁ , r ₂	:	inç
V	:	ft/s
Vp	:	ft/s
W	:	inç
λ	:	boyutsuz
μ	:	cp
τ	:	lbf/inç ²
γ	:	s ⁻¹

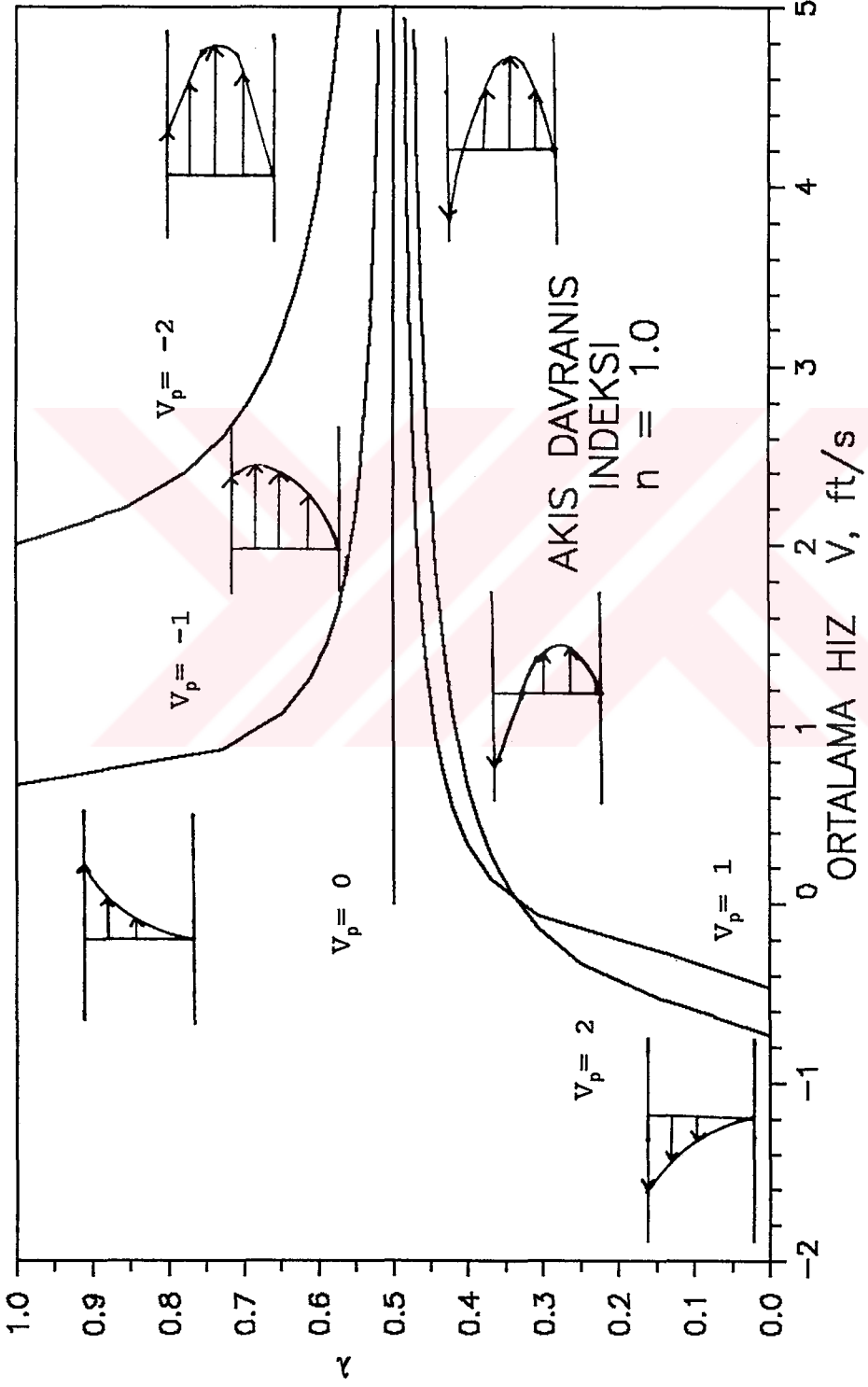
KAYNAKLAR

- [1] CANNON, G.E., : "Changes in Hydrostatic Pressure Due to Withdrawing Drill Pipe from the Hole," Drill. and Prod. Prac., API, 1934, pp. 42.
- [2] GOINS, W. C. Jr., WEICHERT, J., P. BURBA, J.L., Jr., DAWSON, D.D., Jr, ve TEPLITZ, A.J., : "Down-the-hole Pressure Surges and Their Effect on loss of Circulation," Drill. and Prod. Prac., API, 1951, pp. 125.
- [3] CARDWELL, W. T. Jr., : "Pressure Changes in Drilling Wells by Pipe Movement," Drill. and Prod. Prac., API, 1954, pp. 44.
- [4] ORMSBY, G.S., : "Calculation and Control of Mud Pressures in Drilling and Completion Operations," Drill. and Prod. Prac., API, 1954, pp. 44.
- [5] CLARK, E.H.Jr., : "Bottom-Hole Pressure Surges While Running Pipe," Pet.Eng., 1955, pp.27.
- [6] CLARK, E.H.Jr., : "A Graphics View of Pressure Surges and Lost Circulation," Drill. and Prod. Prac., API, 1956, pp. 424.
- [7] ECKEL, J.A., : Oil and Gas Journal, 1959, no:13, pp.96
- [8] BURKHARDT, J.A., : "Wellbore Pressure Surges Produced by Pipe Movement," Journal of Pet. Tech., June-1961, pp.595-605.
- [9] SCHUH, F.J., : "Computer Makes Surge-Pressure Calculation Useful," Oil and Gas Jour., August-1964, pp.96-104.
- [10] FONTENOT, J.E., ve CLARK, K.K., : "An Improved Method for Calculating Swab and Surge Pressures and Circulating Pressures in a Drilling Well," SPEJ Oct. 1974, pp.451-462.
- [11] LUBINSKI, A., JSU, F.H., ve NOLTE, K.G., : "Transient Pressure Surge due to Pipe Movement in an Oil Well," Revu de L' Inst France. du. Pet., May-June 1977, pp.307-347.
- [12] LAL, M., : "Surge and Swab Modelling for Dynamic Pressures and Safe Trip Velocities," IADC/SPE 11412, Feb. 20-23 1983, New Orleans, pp.427-433

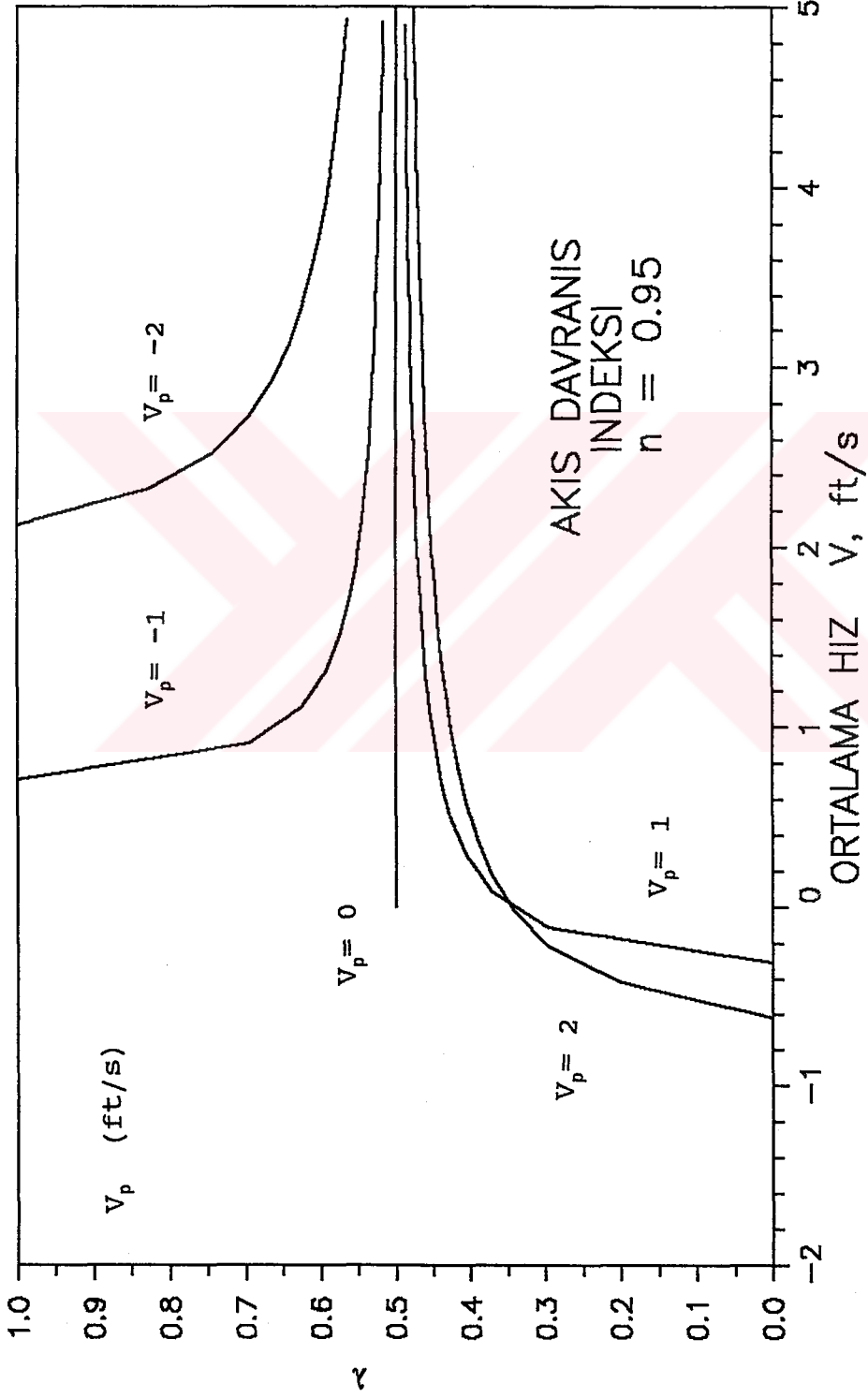
- [13] MITCHELL, R.F., : "Dynamic Surge / Swab Pressure Predictions," SPE Drill. Eng., Sept., 1988, pp.325-333
- [14] MITCHELL, R.F., : "Surge Pressures: Are Steady State Models Adequate?," SPE 18021, Presented of the 63 rd Annual Conference of SPE, Oct, 2-5, 1988, pp.29-38.
- [15] CHUKWE, G.A., ve BLICK, E.F., "Surge and Swab Pressure Model," Pet. Eng. Int. , July 1990, Okla. pp.48-51.
- [16] HACIİSLAMOĞLU, M. ve LANGLINAIS, J., : "Effect of Pipe Eccentricity on Surge Pressures," Energy-Source Tech. Conf. and Exhibition, Jan. 20-24 .1991, Houston LA, pp.4.
- [17] ÇINAR, Y. ve HACIİSLAMOĞLU, M., : "Manevra Hızlarının Hesaplanması," Türkiye 9. Petrol Kongresi Şubat 17-21, 1992, Ankara.
- [18] BIZANTI, M.S. ve MITCHELL, R.F., : "Are Improved Surge Model Needed?," SPE 22057, SPE Richardson, Tx, 1991, pp.1-14
- [19] BOURGOYNE, A.T., et al: "Applied Drilling Engineering," SPE Text Book Series, Vol.2, Richardson, Tx, 1986.
- [20] BIRD, R.B., et al: "Transport Phenomena", John Wiley & Sons Inc., New York, 1960
- [21] DODGE, D.G. ve METZNER, A.B., : "Turbulent Flow of Non-Newtonian Systems," AIChE J. 1959, 5, 189.

EK-A AKIŞ DAVRANIŞ İNDEKSİNE (n) BAĞLI OLARAK
 λ GRAFİKLERİ

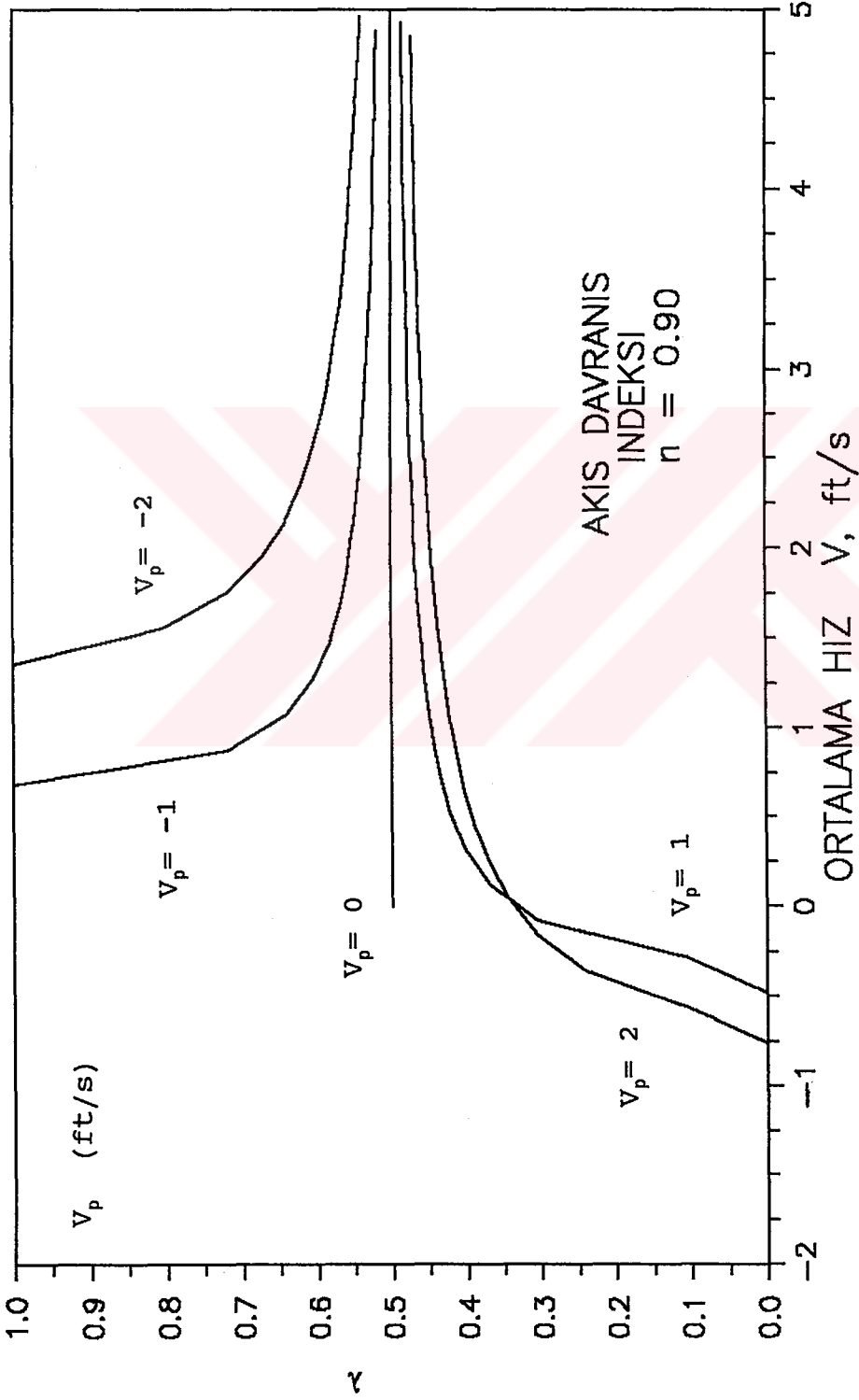




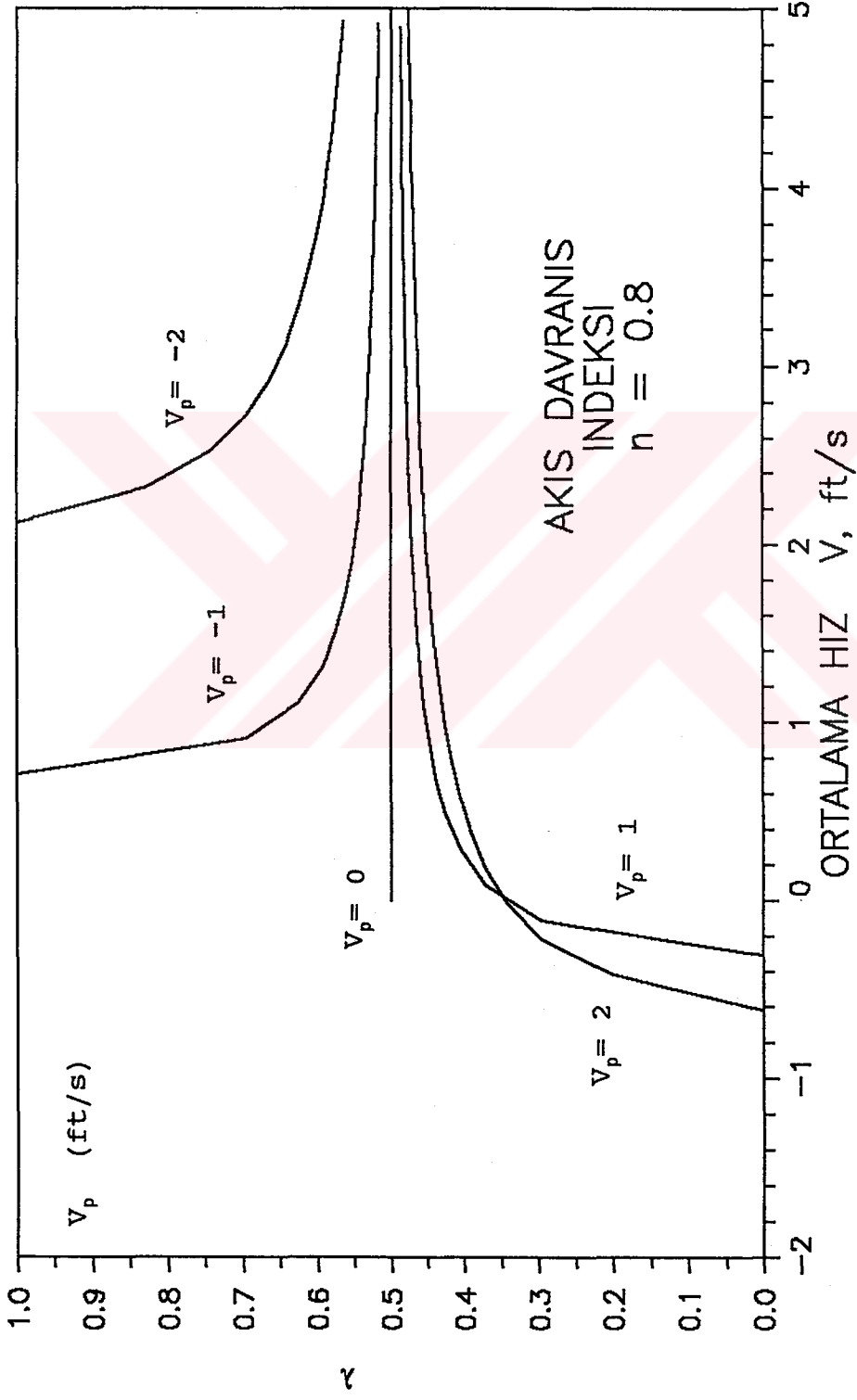
Şekil A.1 $n=1.0$ için kayma gerilmesinin λ , sıfır olduğu yer



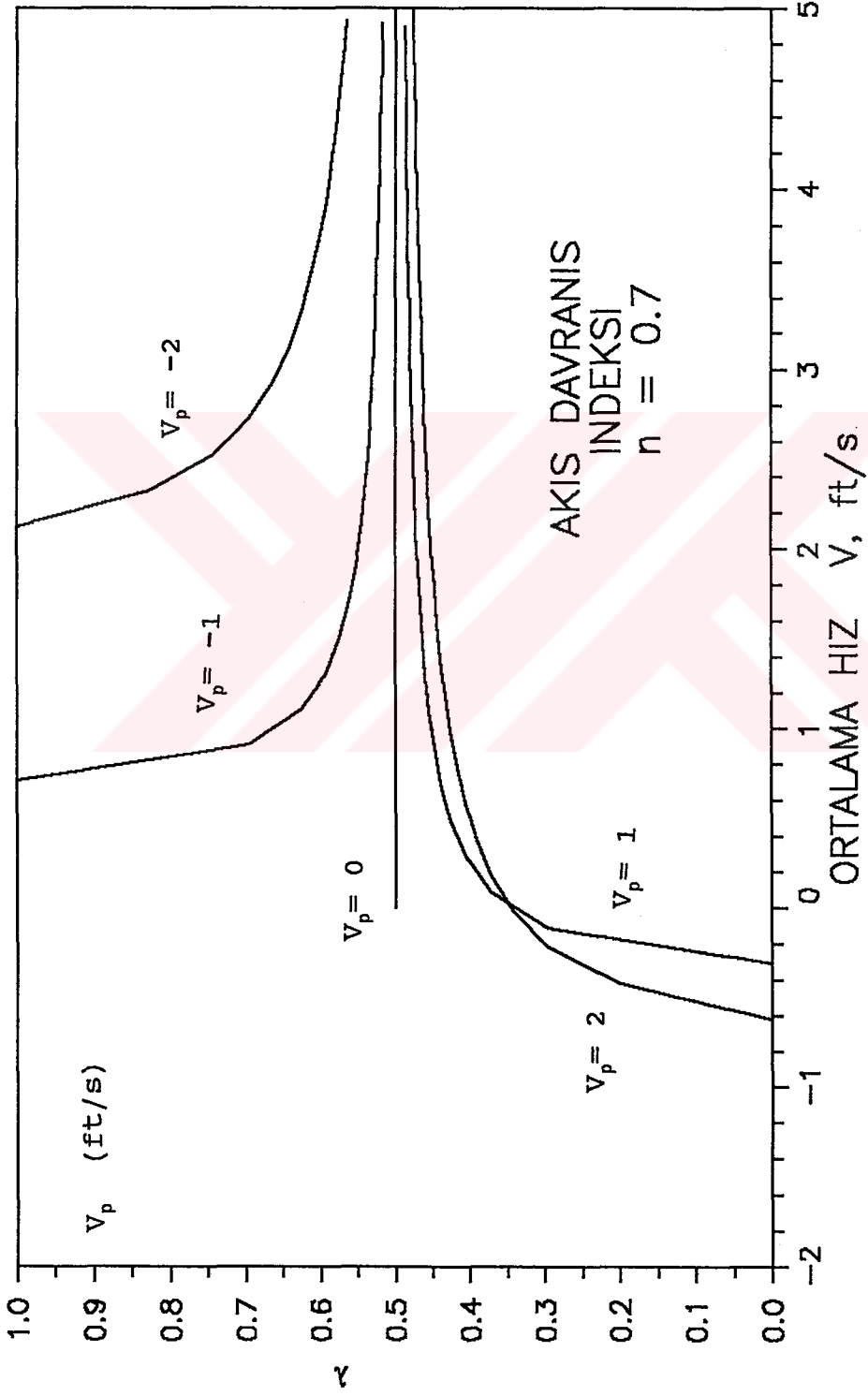
Şekil A.2 $n=0.95$ için kayma gerilmesinin λ , sıfır olduğu yer



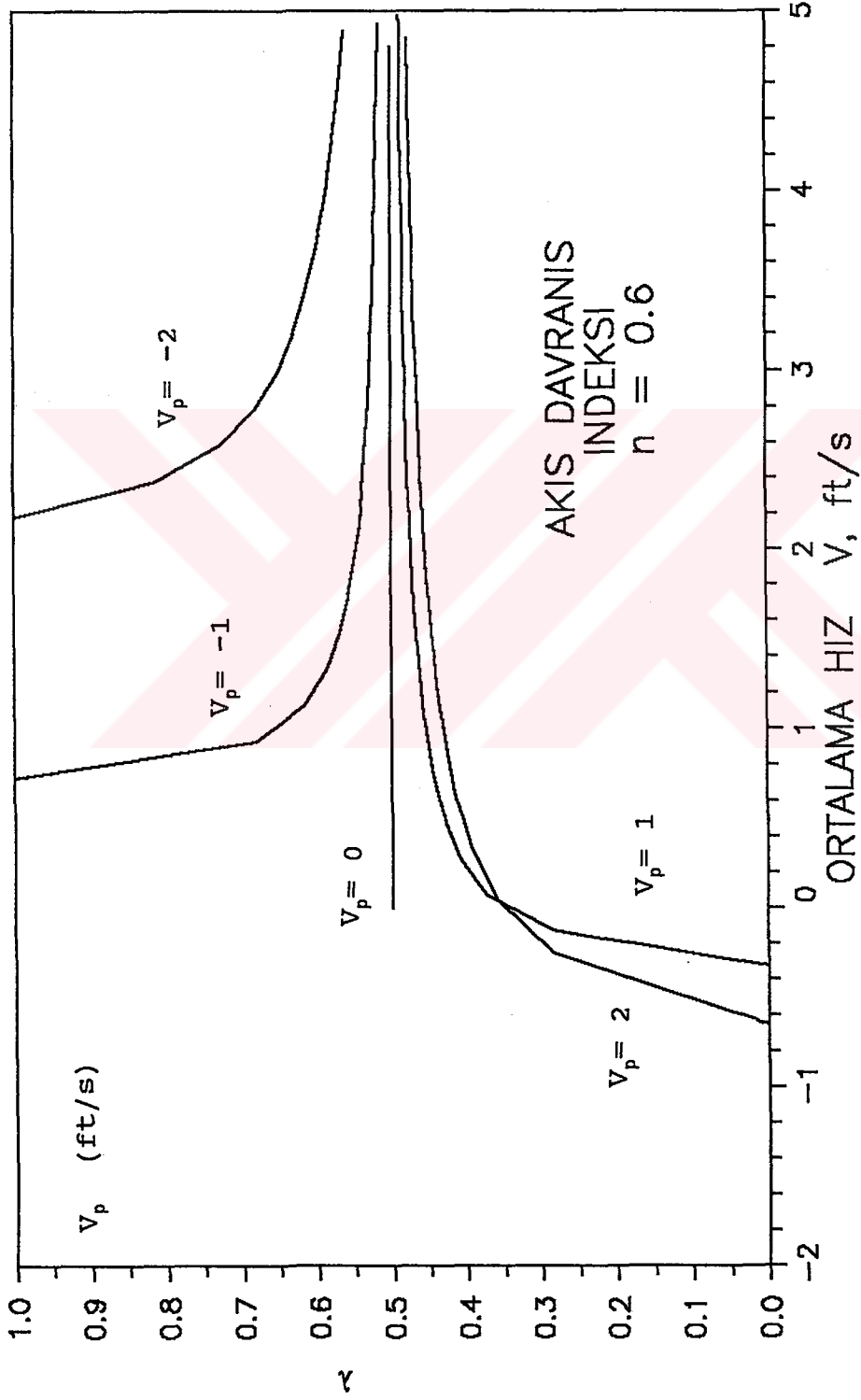
Şekil A.3 $n=0.9$ için kayma gerilmesinin λ , sıfır olduğu yer



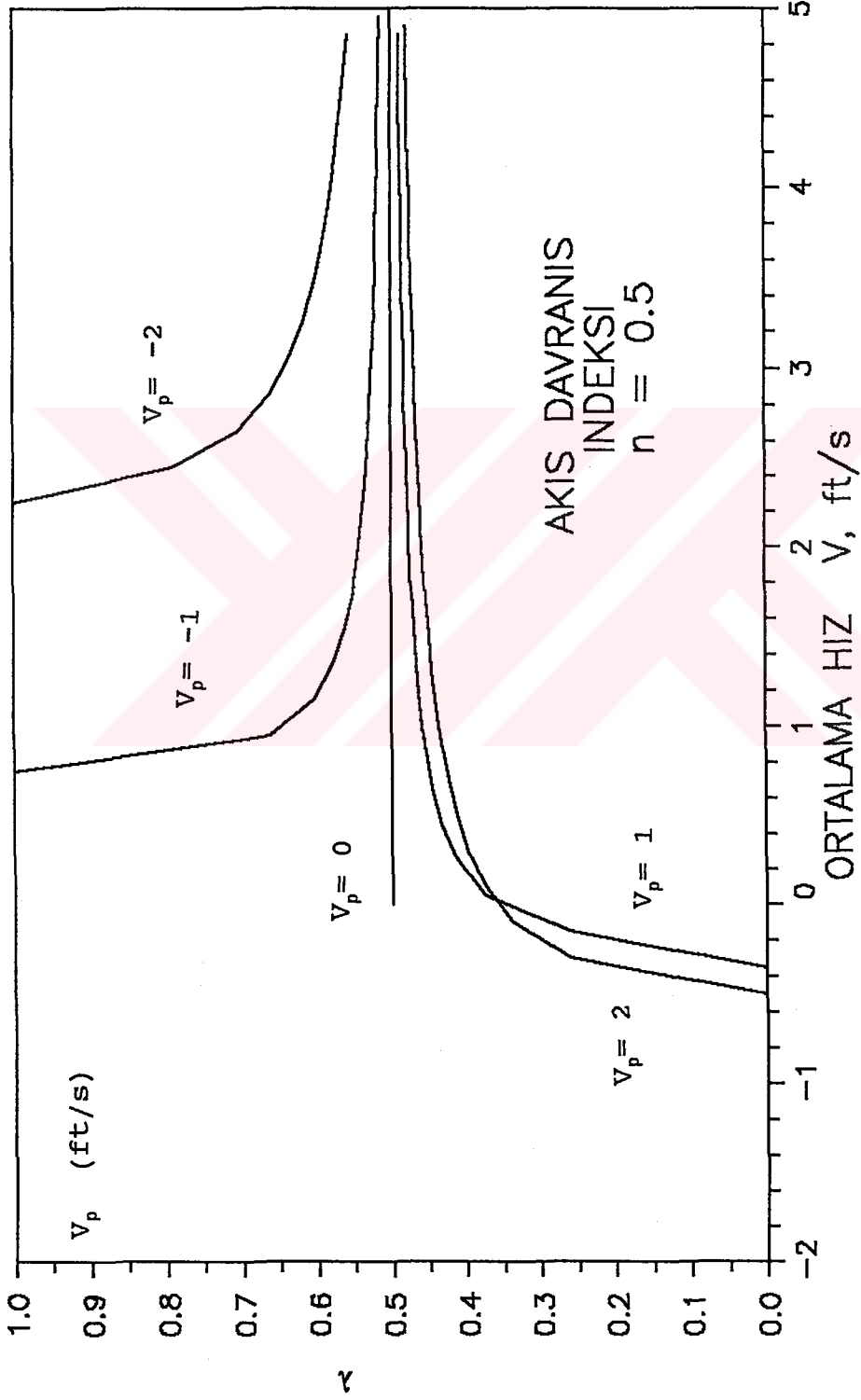
Şekil A.4 $n=0.8$ için kayma gerilmesinin λ , sıfır olduğu yer.



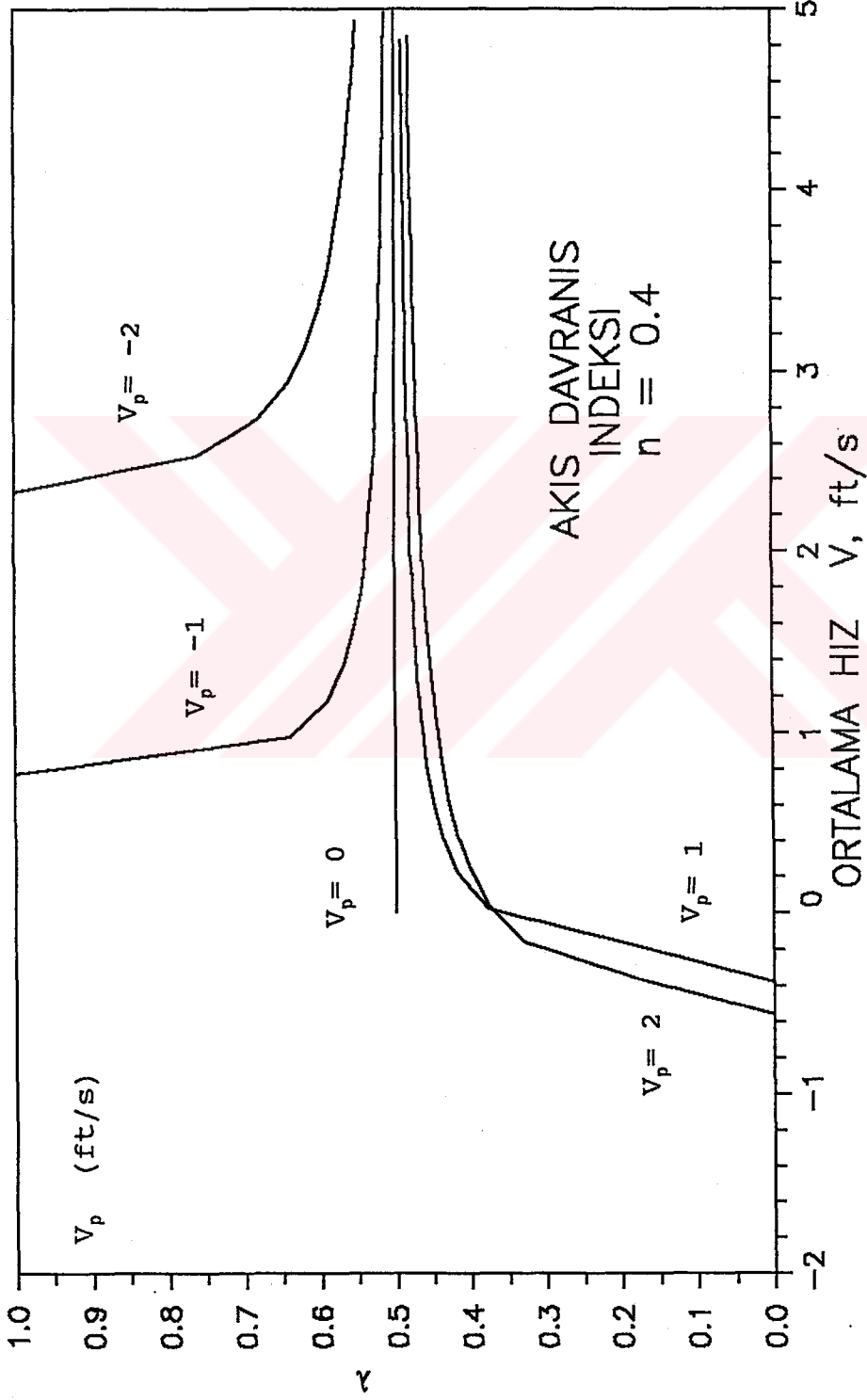
Şekil A.5 $n=0.7$ için kayma gerilmesinin λ , sıfır olduğu yer.



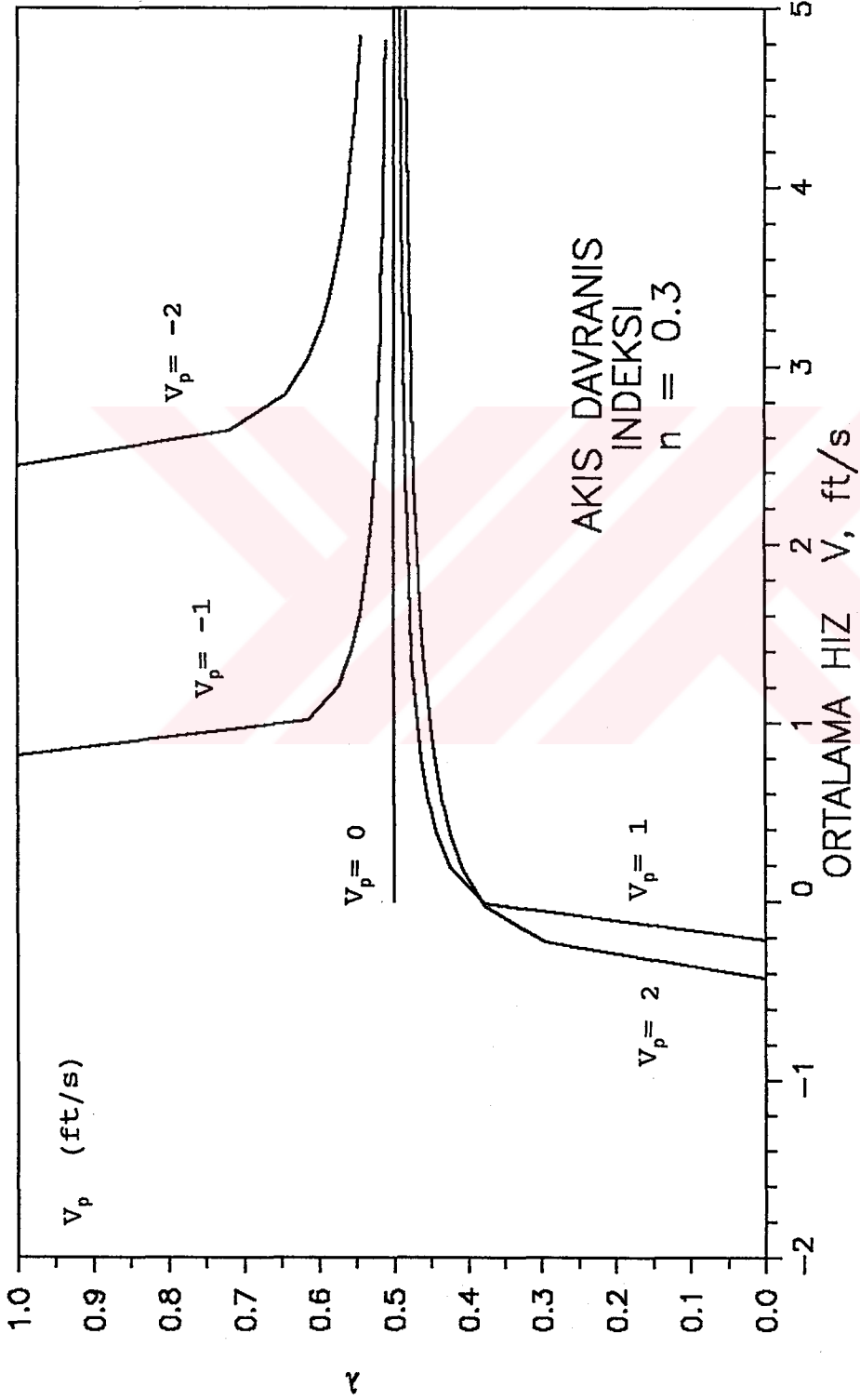
Şekil A.6 $n=0.6$ için kayma gerilmesinin λ , sıfır olduğu yer.



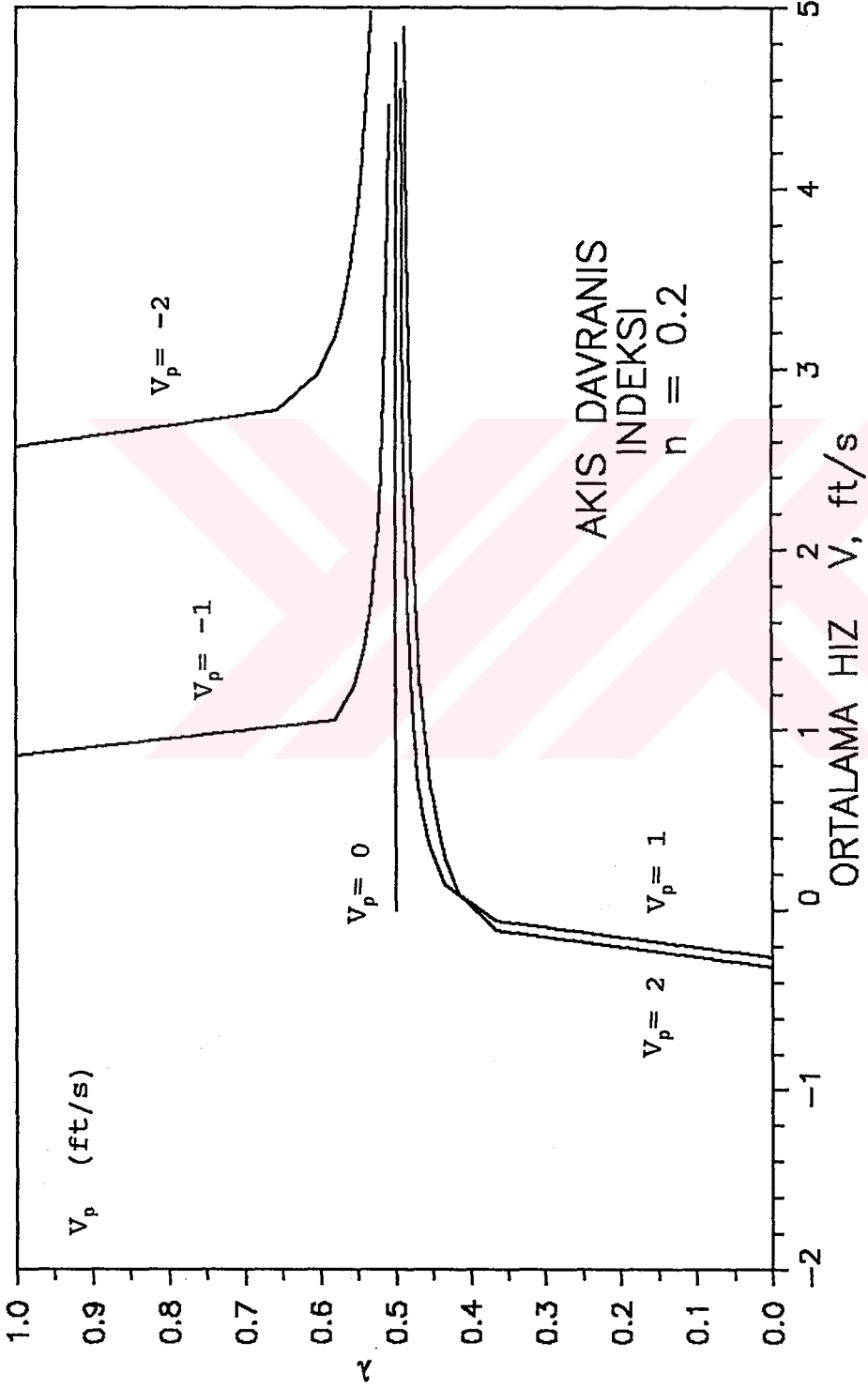
Şekil A.7 $n=0.5$ için kayma gerilmesinin λ , sıfır olduğu yer.



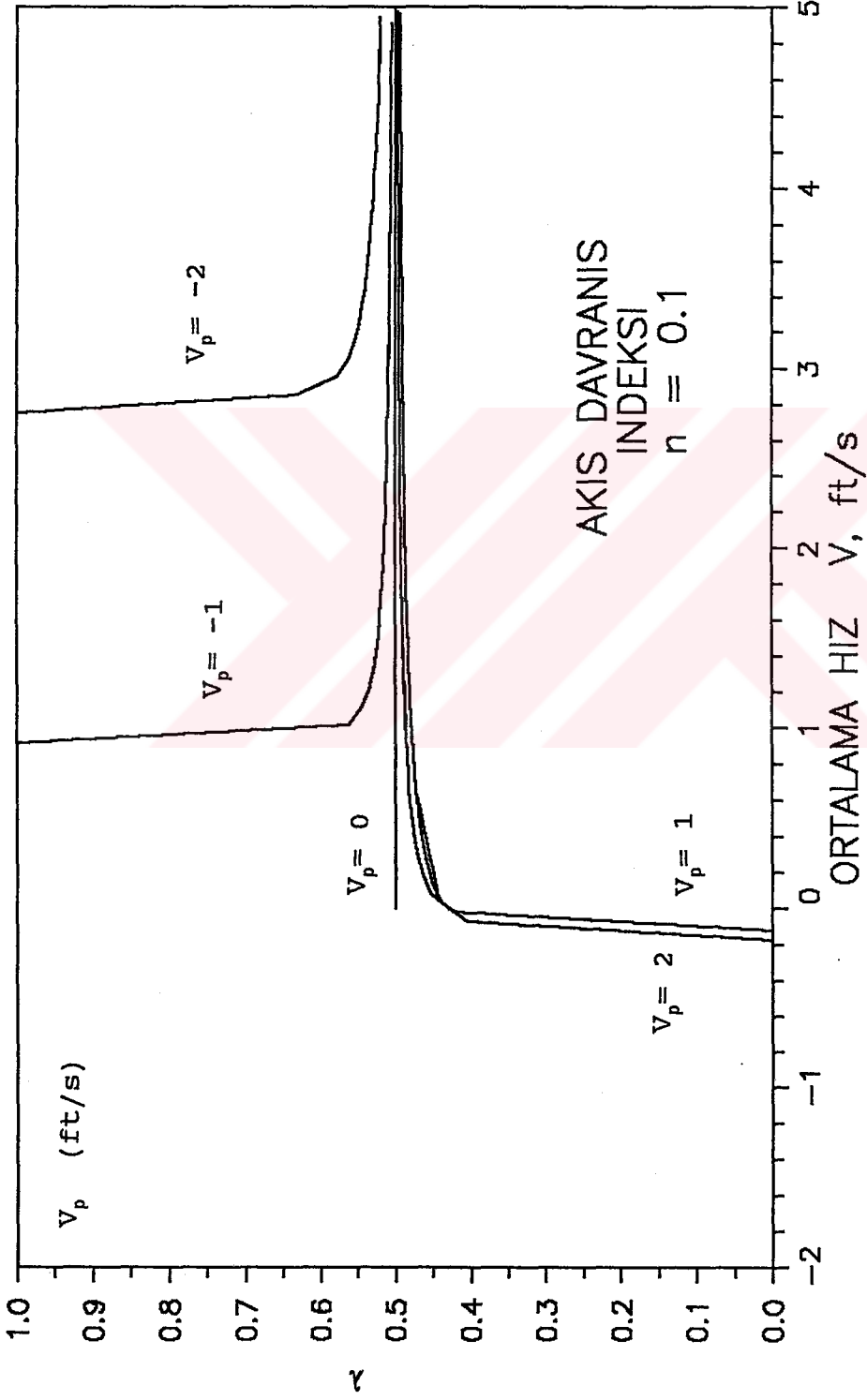
Şekil A.8 $n=0.4$ için kayma gerilmesinin λ , sıfır olduğu yer.



Şekil A.9 $n=0.3$ için kayma gerilmesinin λ , sıfır olduğu yer.



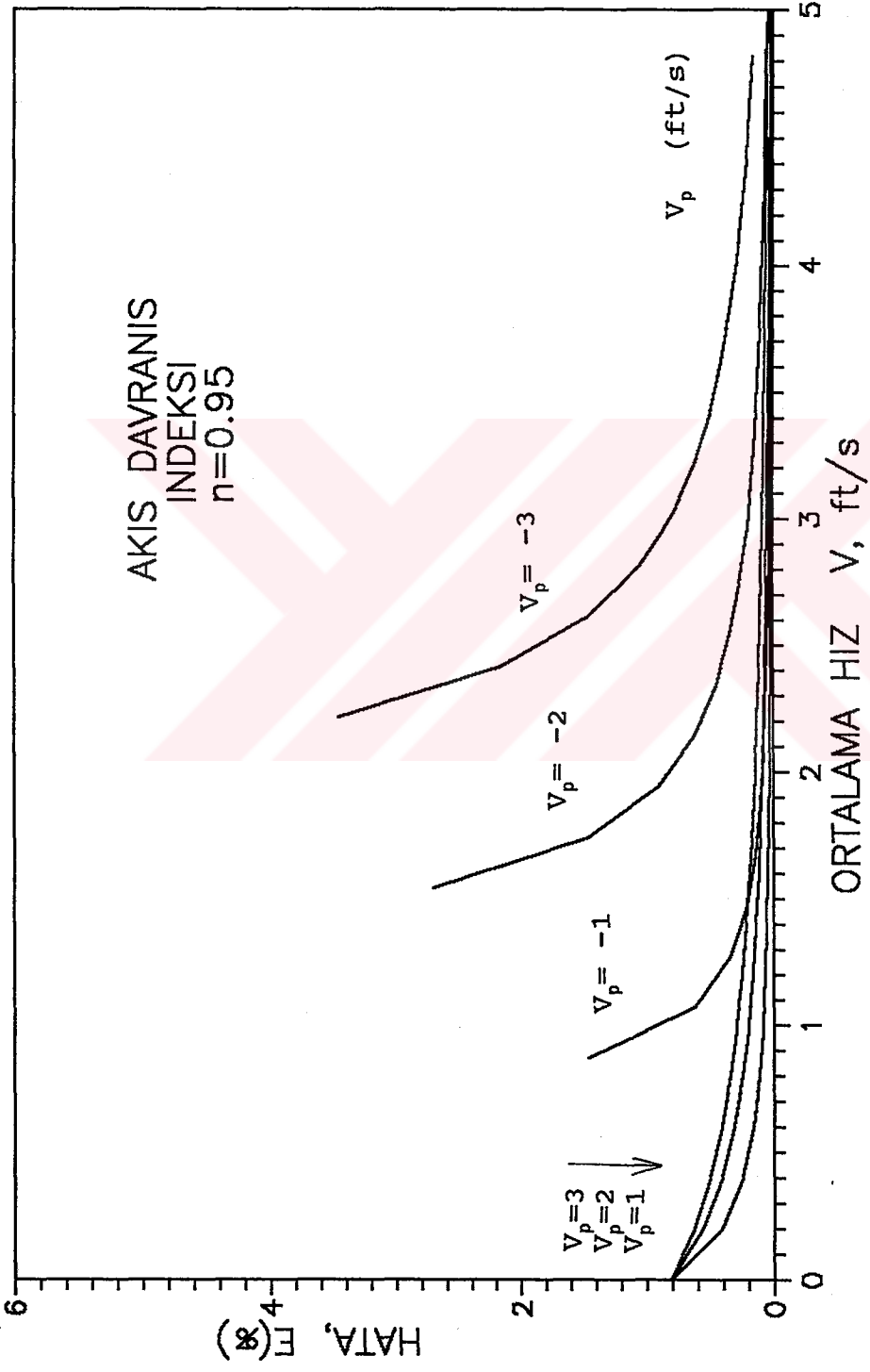
Şekil A.10 $n=0.2$ için kayma gerilmesinin λ , sıfır olduğu yer.



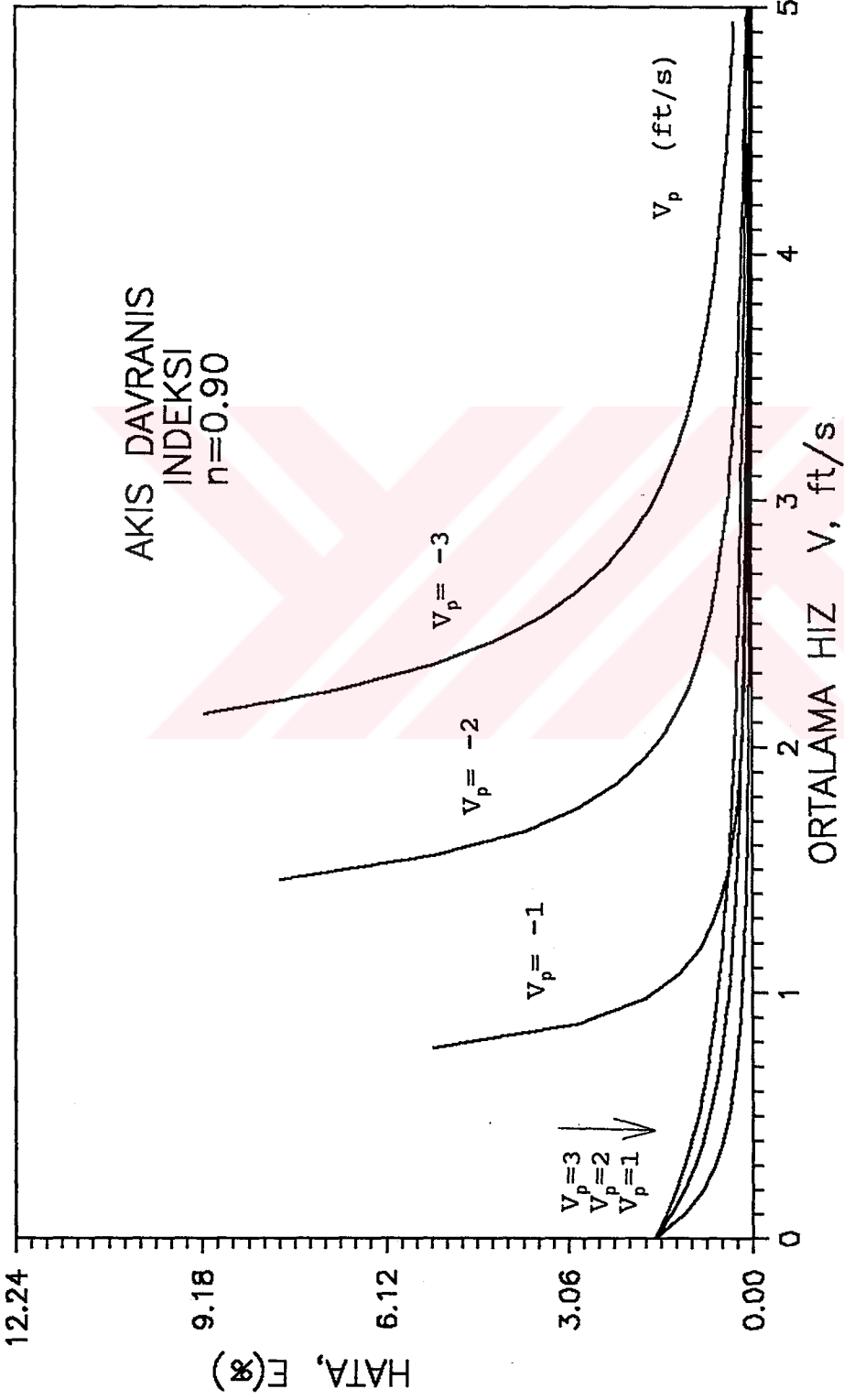
Şekil A.11 $n=0.1$ için kayma gerilmesinin λ , sıfır olduğu yer.

EK-B AKIŞ DAVRANIŞI İNDEKSİNE (n) BAĞLI OLARAK
HATA (E) GRAFİKLERİ

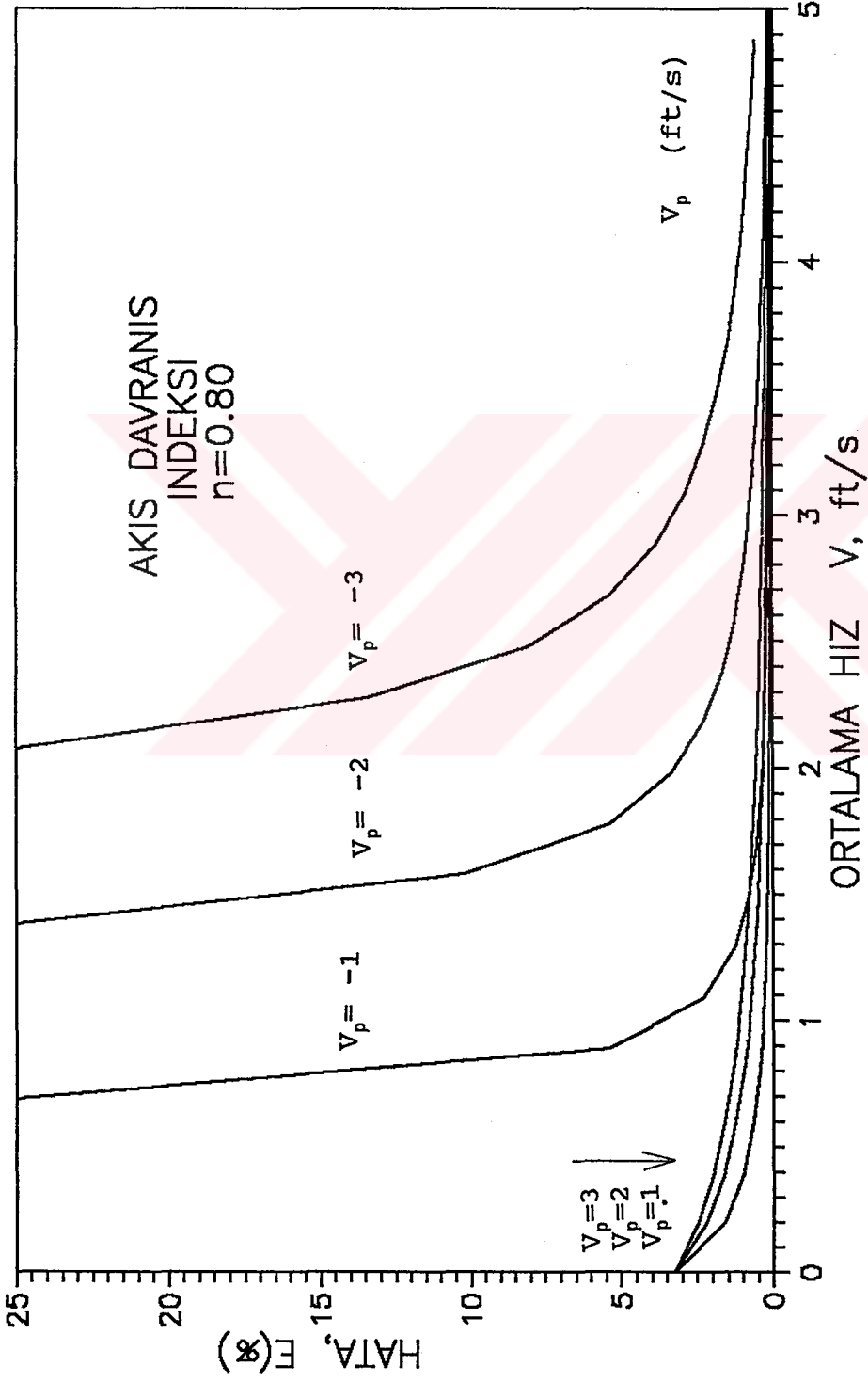




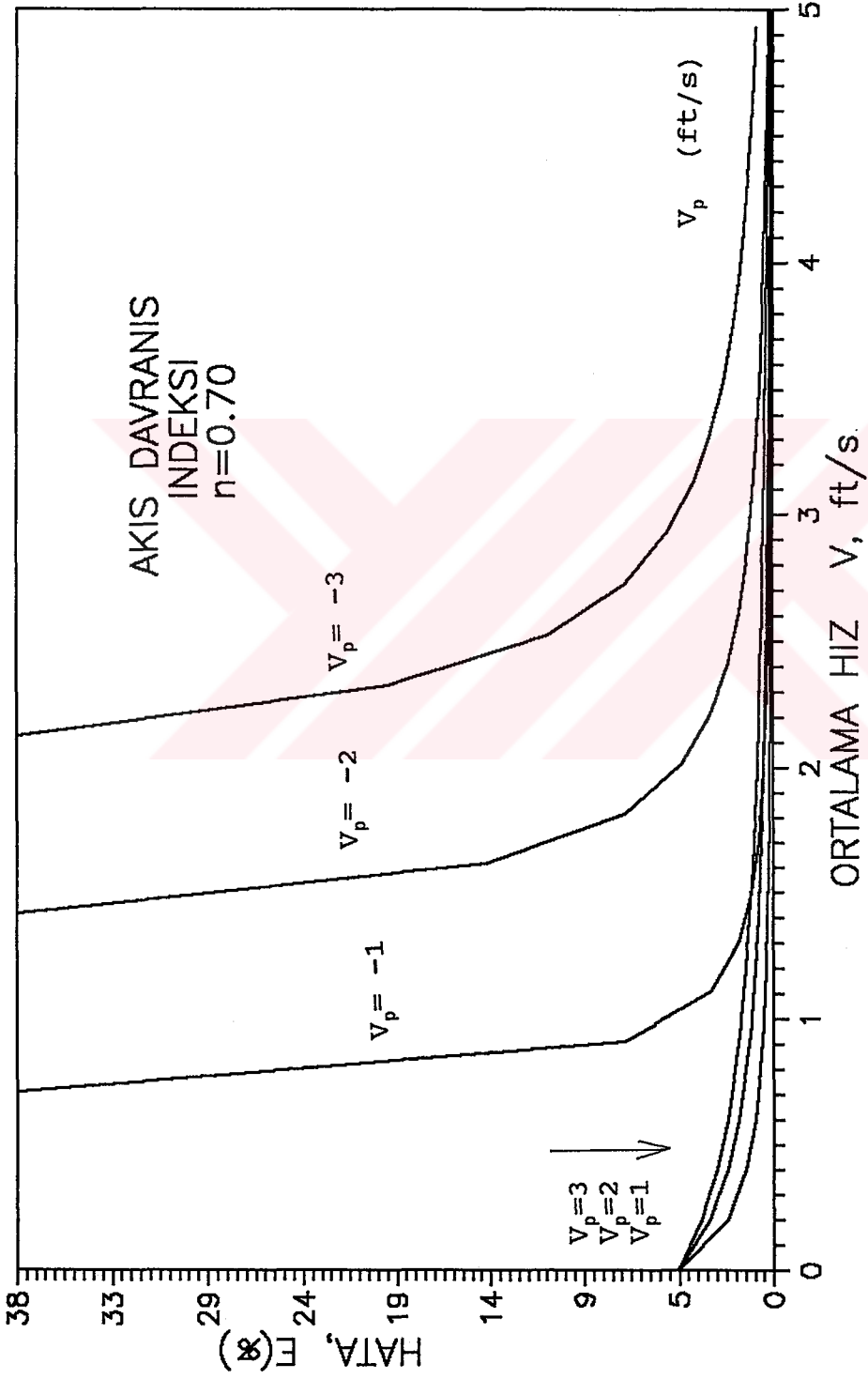
Şekil B.1 $n=0.95$ için hata grafiği.



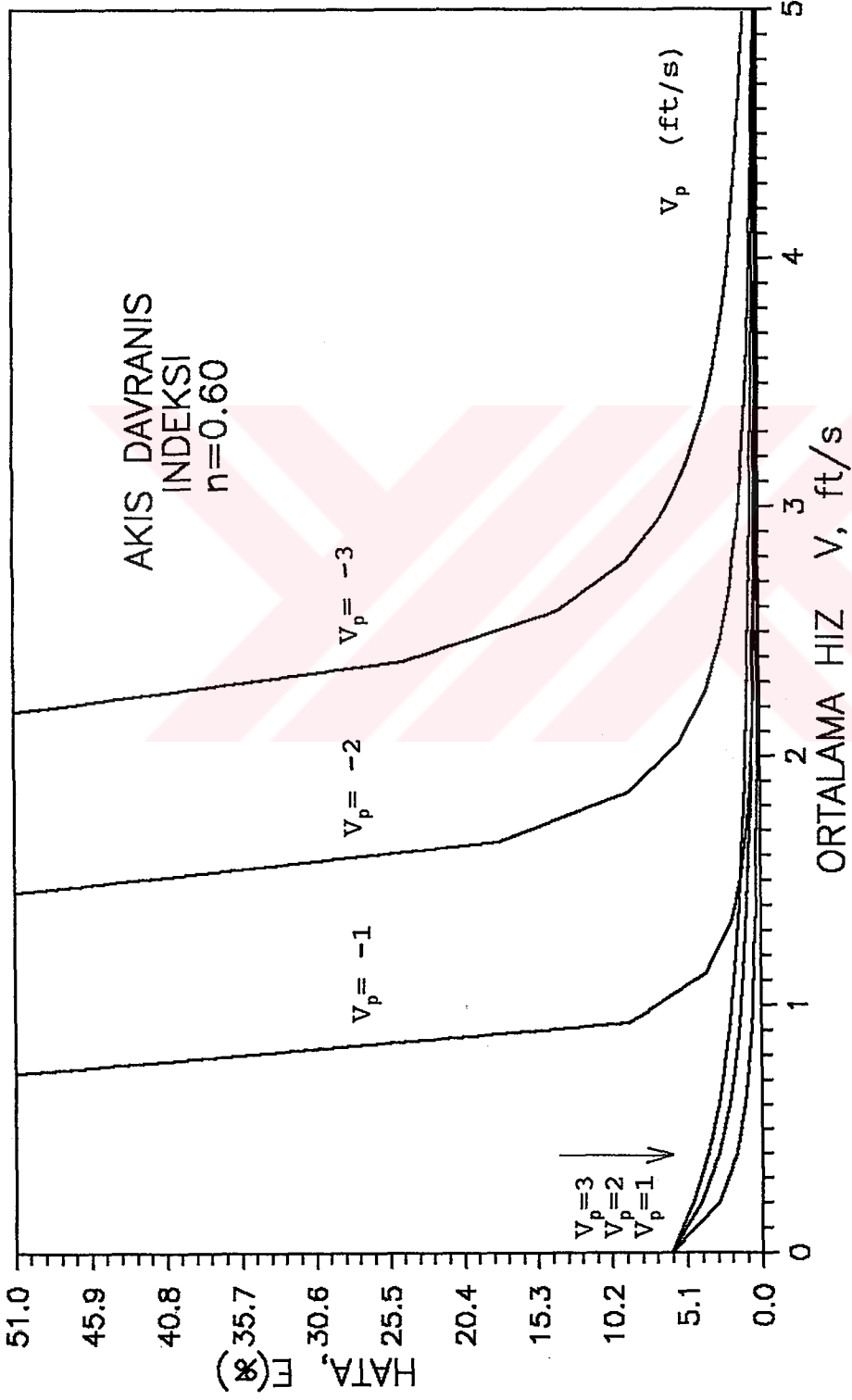
Şekil B.2 $n=0.9$ için hata grafiği.



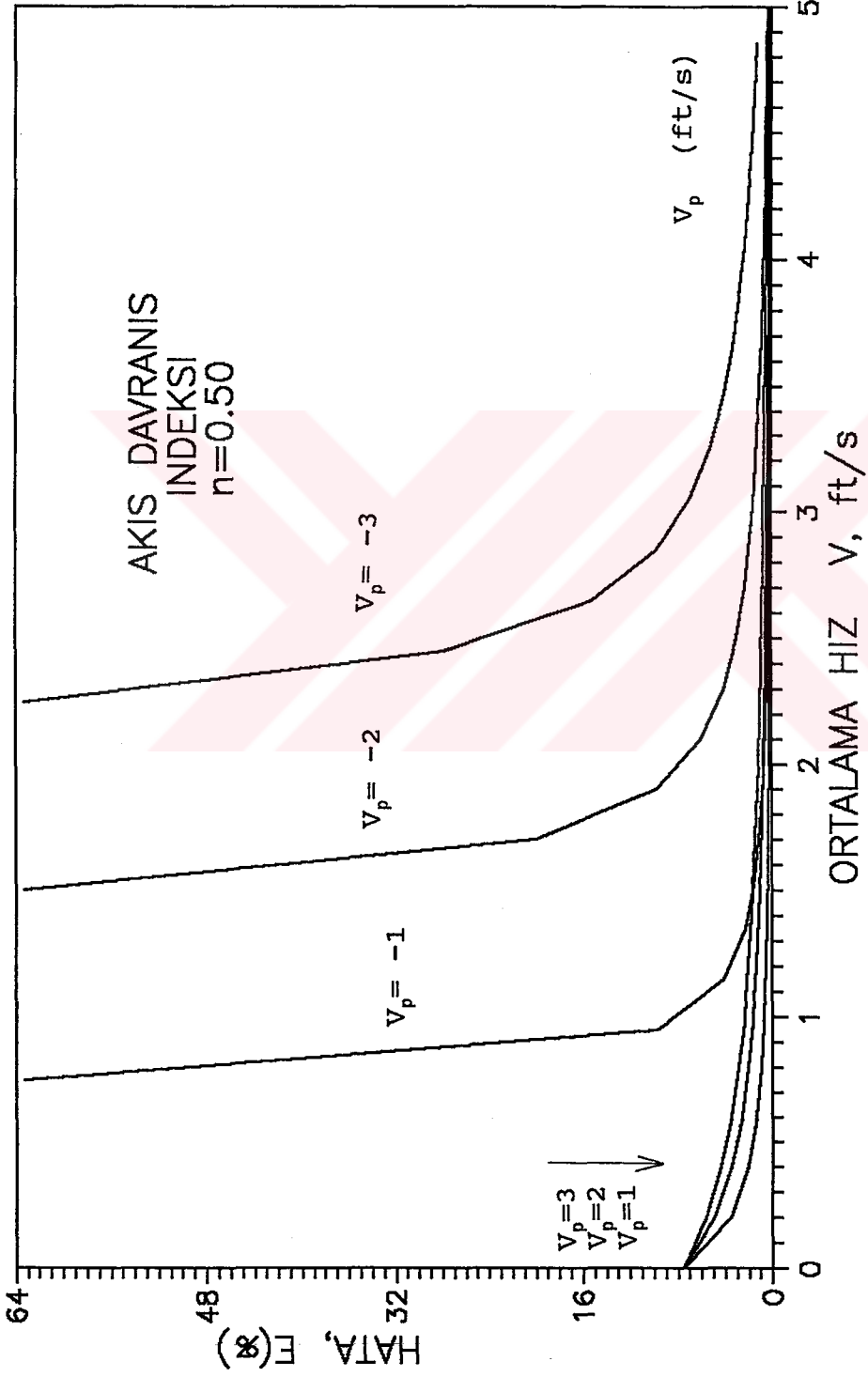
Şekil B.3 $n=0.8$ için hata grafiği.



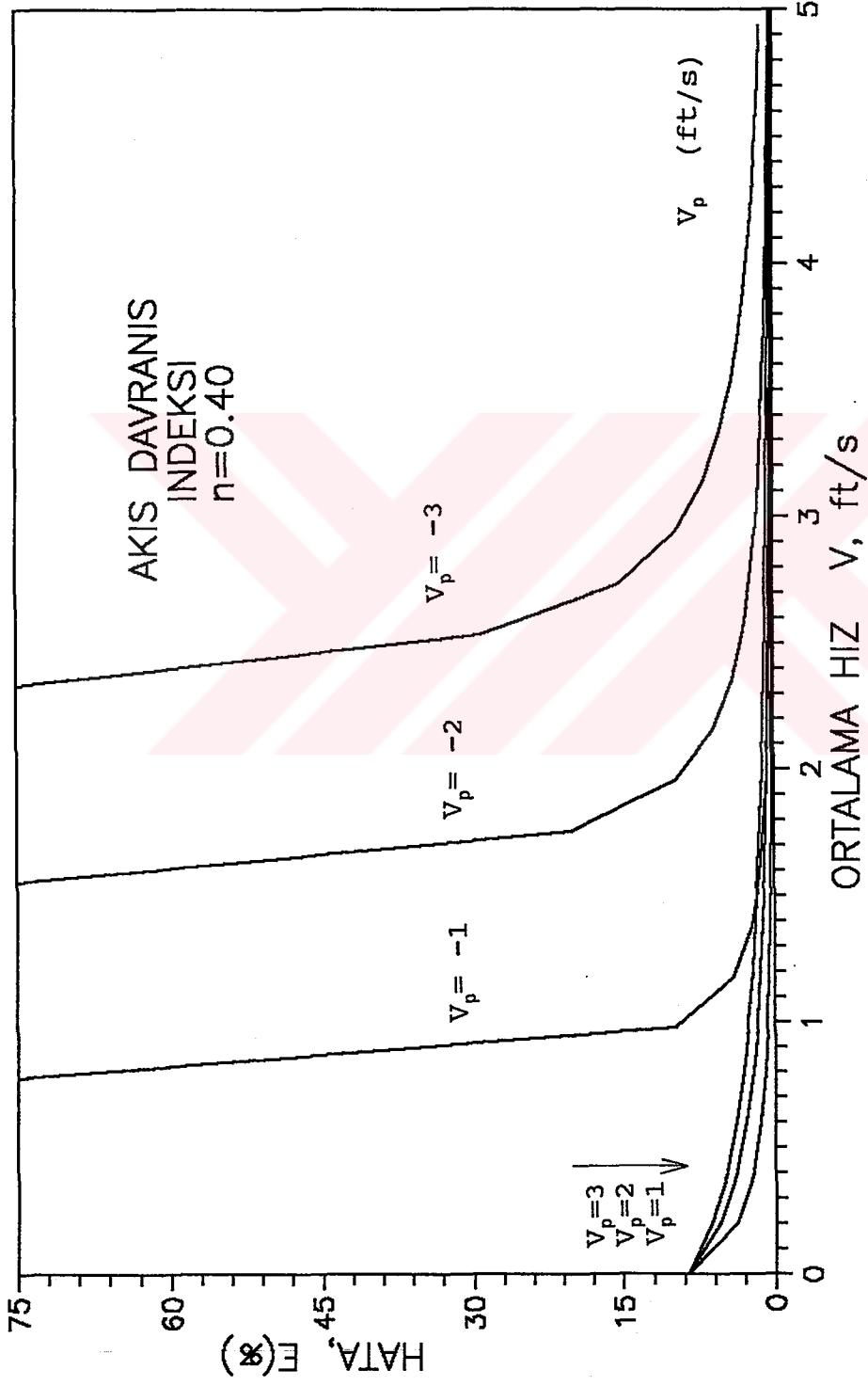
Şekil B.4 $n=0.7$ için hata grafiği.



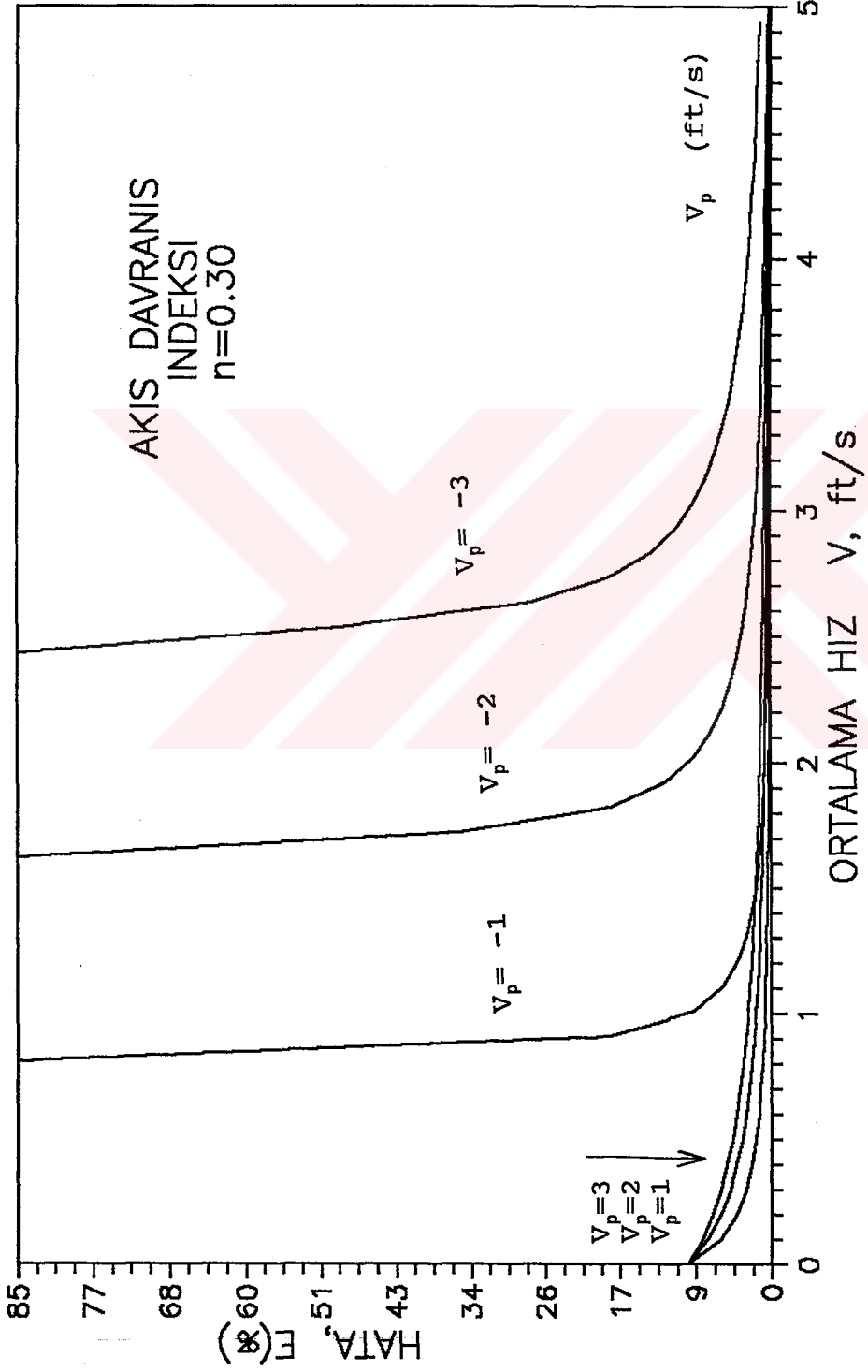
Şekil B.5 $n=0.6$ için hata grafiği.



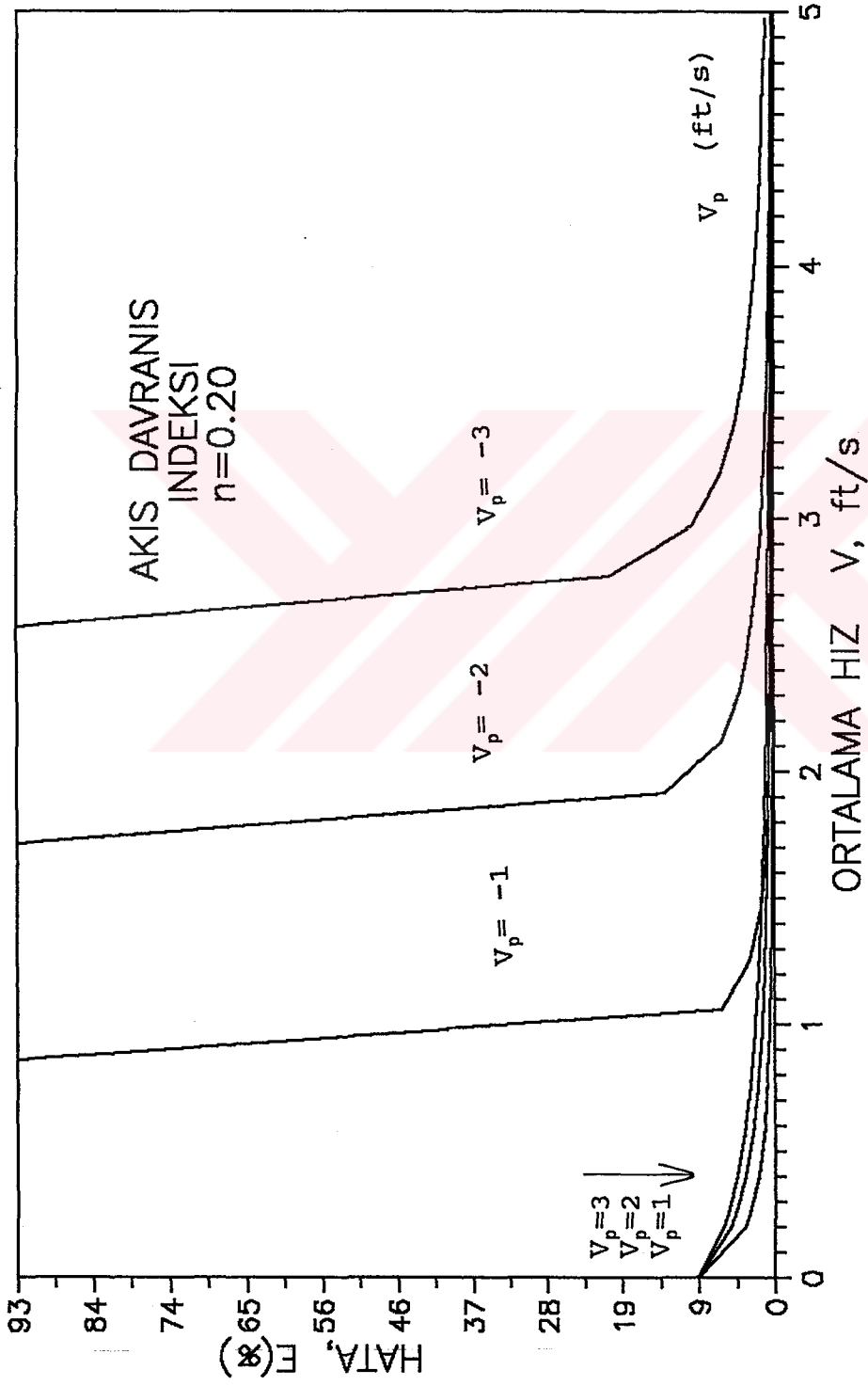
Şekil B.6 $n=0.5$ için hata grafiği.



Şekil B.7 $n=0.4$ için hata grafiği.

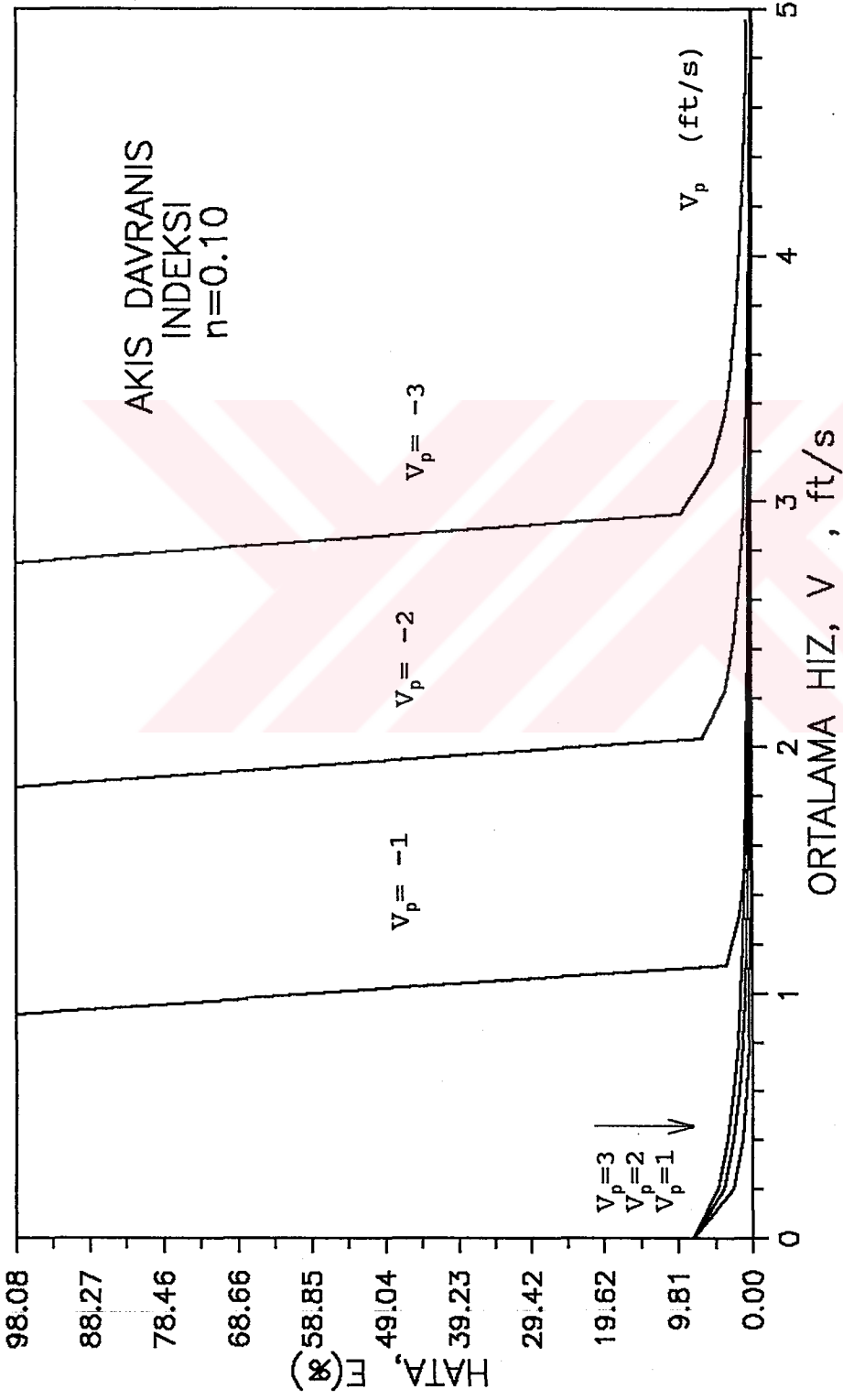


Şekil B.8 $n=0.3$ için hata grafiği.



$n=0.2$ için hata grafiği.

şekil B.9



Şekil B.10 $n=0.1$ için hata grafiği.

ÖZGEÇMİŞ

1966 yılında Şavşat-ARTVİN' de doğan Gürşat ALTUN, ilk öğrenimini Bafra-SAMSUN' da, orta öğrenimini Bursa' da tamamladı. 1983 yılında Bursa Demirtaşpaşa Teknik Lisesi 3. sınıfında iken üniversite sınavını kazanması nedeniyle, fark dersleri sınavını vererek mezun oldu. 1988 yılında İTÜ Petrol Mühendisliği bölümünü bitirerek, aynı yıl İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsünde Petrol Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. 1989 yılından itibaren İTÜ Petrol Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

