

21272

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YATAY KUYULARIN ÇATLAKLI REZERVUARLARDAKİ

BASINÇ DAVRANIŞLARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Özgür GÖKSEL

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 1 Mayıs 1992
Tezin Savunulduğu Tarih : 5 Mayıs 1992

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Erdal ÖZKAN
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Abdurrahman SATMAN
Yrd. Doç. Dr. Mustafa ONUR

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DEKÜMANTAYON MERKEZİ

Mayıs, 1992

ÖNSÖZ

Öğrenim hayatımın bu önemli aşamasında yaptığım çalışmanın Petrol Mühendisliğine katkıda bulunmasını ve bundan sonra yapılacak benzeri çalışmalara kaynak olmasını diliyorum.

Tez danışmanım Yrd. Doç Erdal ÖZKAN' a konumun belirlenmesi ve çalışma dönemim boyunca göstermiş olduğu ilgi, destek ve bilimsel yardımlarından dolayı teşekkür ederim. Lisans öğrenimim süresince ve tez çalışmam sırasındaki yardımları için başta bölüm başkanımız Prof. Dr. Argun GÜRKAN olmak üzere bütün bölüm elemanlarına teşekkür ederim.

Bu çalışmayı yapabilmemde maddi ve manevi büyük katkıları olan aileme, arkadaşlarım Y. Müh Kubılay MENEKŞE ve Y.Müh. Ayşe KAŞLIĞARA teşekkür ederim.

Özgür GÖKSEL
3.2.1992

İÇİNDEKİLER

ÖZET	V
SUMMARY	VI
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. YATAY KUYULARIN ÇATLAKLI REZERVUARLARDAKİ BASINÇ DAVRANIŞI	8
BÖLÜM 3. ÇATLAKLI REZERVUARLARDAKİ YATAY BİR KUYUNUN BASINÇ DENKLEMİNİN ASİMPTOTİK ÇÖZÜMLERİ	15
3.1. Erken Dönem Yaklaşımı	15
3.2. Geç Dönem Yaklaşımı	18
3.3. Ara Dönem Yaklaşımları	20
3.3.1. Erken Ara Dönem Yaklaşımı	20
3.3.2. Geç Ara Dönem Yaklaşımı	23
BÖLÜM 4. KARAKTERİSTİK AKIŞ DAVRANIŞLARI	25
4.1. Doğal Çatlaklı Rezervuarlardaki Yatay Kuyuların Akış Rejimleri	25
4.2. Akış Rejimlerinin Ortaya Çıktığı Zaman Aralıkları	28
4.2.1. Birinci Akış Rejimi (R1)	28
4.2.2. İkinci Akış Rejimi (R2)	30
4.2.3. Üçüncü Akış Rejimi (R3)	32
BÖLÜM 5. BASINÇ AZALIM ÇÖZÜMLERİ	34
5.1. Erken ve Erken Ara Dönem Çözümleri	34
5.2. Geç Ara ve Geç Dönem Çözümleri	35
SONUÇLAR	37

SİMGELER	39
KAYNAKLAR	40
EK-A. Çözümlerin Elde Edilmesinde Kullanılan Bilgisayar Programı	42
Ek-B. Basınç ve Türev Grafikleri	52
Ek-C. Basınç ve Türev Tabloları	77



ÖZET

Bu çalışmada doğal çatlaklı rezervuarlarda yatay kuyuların basınç davranışları incelenmiştir. Özellikle akış rejimlerinin belirlenmesi amacıyla geniş bir parametre aralığı için boyutsuz basınç denkleminin Laplace transformu, Stehfest,[16] algoritminden yararlanılarak nümerik olarak çözülmüştür. Elde edilen t_w ye karşı P_w , $dP_w/d\ln t_w$ basınç düşümü değerleri incelenerek akış dönemleri belirlenmiş ve grafik olarak gösterilmiştir. Yatay kuyuların belirgin bir davranışı olarak literatürde verilen kısa dönem ve geç dönem yarilog doğrularına ek olarak ara dönem de iki ayrı akış rejimi gözlenmiştir. Bu tezin amacı bu akış rejimlerinin ortaya çıkış koşullarını belirleyerek kuyu testleri üzerine yapılacak çalışmalara ışık tutmaktır.

SUMMARY

PRESSURE BEHAVIOR OF HORIZONTAL WELLS IN NATURALLY FRACTURED RESERVOIR

Theoretical studies and field results show that, horizontal wells have a great performance in thin reservoir and fractured reservoirs, and in the case of water coning and high vertical permeability.

Several works on the pressure behavior and productivity of horizontal wells have been published [1]-[6]. The pressure equation for horizontal wells in homogenous reservoirs which is used in this study to derive an equation for naturally fractured reservoirs was obtained by Clonts and Ramey, [1] and Özkan et al, [2].

$$P_D = \frac{\sqrt{\pi}}{4} \int_0^{t_D} \left[\operatorname{erf}\left(\frac{1+x_D}{2\sqrt{\xi}}\right) + \operatorname{erf}\left(\frac{1-x_D}{2\sqrt{\xi}}\right) \right] \exp\left(-\frac{y_D^2}{4\xi}\right) \\ \left[1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \exp(-n^2 \pi^2 L_D^2 \xi) \cos n \pi z_D \cos n \pi z_{wD} \right] \frac{d\xi}{\sqrt{\xi}}$$

Here

$$P_D(x_D, y_D, z_D, z_{wD}, L_D, t_D) = \frac{kh}{141.2 q B \mu} (P_i - P(x, y, z, z_w, L, t))$$

$$t_D = \frac{0.001055 \, kt}{\phi C_e \mu L^2}$$

$$x_D = \frac{2x}{L}$$

$$y_D = \frac{2y}{L}$$

$$z_D = \frac{z}{h}$$

$$z_{wD} = \frac{z_w}{h}$$

$$L_D = \frac{L}{h} \sqrt{\frac{k_z}{k}}$$

To derive this equation, uniform-flux condition was assumed in the wellbore. Infinite-conductivity well solution was obtained from the uniform-flux well solution by using the equivalent pressure point method[1],[2]. To compute wellbore pressures $x_0=0.732$, $y_0=0$ and $z_0=z_{w0}+r_{w0}$ where

$$r_{w0} = \left(\frac{r_w}{h}\right) \sqrt{\frac{k}{k_z}}$$

Although the horizontal wells in homogenous reservoirs has been investigated in several studies[7],[8], the naturally fractured reservoir case has not been examined enough. Carvalho and Rosa,[8] investigated transient pressure behavior of horizontal wells in naturally fractured reservoir by using Warren and Root,[9] double porosity model. Another study on the transient pressure behavior of horizontal wells in anisotropic naturally fractured reservoirs has been published by R. Aguilera and Michael C. Ng,[7]. But both of these studies did not discuss the existence conditions of the flow regimes for a wide range of reservoir and fluid parameters.

The main objective of this study is to investigate the existence conditions of various flow regimes in the case of flow toward a horizontal well in a naturally fractured reservoir. To obtain a solution for this case, s is replaced by $sf(s)$ in the Laplace transform of the homogenous reservoir solution given above and the resulting expression is multiplied by $f(s)$ throughout[8]. The result is

$$\begin{aligned} \bar{P}_D &= \frac{1}{2s} \int_{-1}^{+1} K_0(\sqrt{sf(s)} \tilde{r}_D) \tilde{r}_D d\alpha \\ &+ \frac{1}{s} \sum_{n=1}^{\infty} \cos n\pi z_D \cos n\pi z_{wD} \\ &\int_{-1}^{+1} K_0(\sqrt{sf(s) + n^2\pi^2 L_D^2} \tilde{r}_D) \tilde{r}_D d\alpha \end{aligned}$$

where

$$\tilde{r}_D = \sqrt{(x_D - \alpha)^2 + y_D^2}$$

For the De Swaan-0,[11] model used to idealize the fractured reservoir in this study, $f(s)$ is given by

$$f(s) = 1 + \sqrt{\frac{\lambda' \omega'}{3s}} \tanh\left(\sqrt{\frac{3\omega' s}{\lambda'}}\right)$$

$$\lambda' = 12 \left(\frac{k_x h_m}{k_f h_f} \right) \left(\frac{L}{2} \right)^2 \frac{1}{h_m^2}$$

$$\omega' = \frac{\phi_m C_m h_m}{\phi_f C_f h_f}$$

Results presented in this study are obtained by using Stehfest,[16] algorithm to numerically invert the above solution. Asymptotic approximations of the dimensionless pressure solution are obtained analytically by using the asymptotic expressions for $f(s)$ appropriate for early, late and intermediate solutions for $f(s)$.

As shown in [13], for early times $f(s)$ is equal to 1; for late times it is equal to $(1+\omega')$ and for intermediate times

$$f(s) = \sqrt{\frac{\lambda' \omega'}{3s}}$$

Using these approximations, early, intermediate and late time approximations of the dimensionless pressure solution are obtained for horizontal wells in naturally fractured reservoirs. These equations show the existence of two new semilog straight lines (and thus two new flow periods referred to as "early intermediate flow period" and "late intermediate flow period") in intermediate time as compared to homogenous reservoir case. The asymptotic approximations are as follows;

Early time approximation:

$$P_{wD} = - \frac{1}{4L_D} \left(\ln t_D - \ln \frac{r_w^2}{L_D^2} + 0.80907 \right)$$

Early intermediate time approximation

$$P_{wD} = \frac{1}{8L_D} (\ln t_D - \ln \frac{\lambda' \omega'}{3} - \ln \frac{r_{wD}^2}{L_D^2} + 1.04099)$$

Late intermediate time approximation

$$P_{wD} = \frac{1}{4} (\ln t_D - \ln (\frac{\lambda' \omega'}{3}) + 5.04099) + \sigma(X_D, Y_D) + F$$

Late time approximation

$$P_{wD} = 0.5 (\ln t_D + 2.80907 - \ln(1+w')) + \sigma(X_D, Y_D) + F$$

In the above expressions;

$$r_{wD} = \frac{r_w}{h} \sqrt{\frac{k_s}{k}}$$

$$\sigma(X_D, Y_D) = \frac{1}{4} [(X_D - 1) \ln ((X_D - 1)^2 + Y_D^2) - (X_D + 1) \ln ((X_D + 1)^2 + Y_D^2) - 2Y_D \arctan(\frac{2Y_D}{(X_D^2 + Y_D^2 - 1)})]$$

$$F(X_D, r_{wD}, z_{wD}, L_D) = \sum_{n=1}^{\infty} \cos n\pi (z_{wD} + r_{wD}) \cos n\pi z_{wD} \int_{-1}^{+1} K_0(\tilde{r}_D L_D n\pi) \tilde{r}_D d\tilde{r}_D$$

$$\text{and } \tilde{r}_D = \sqrt{(X_D - \alpha)^2 + Y_D^2}$$

As can be seen from these approximations, for early times the semilog graph of P_{wD} vs t_D yields a straight line which has a slope $0.576/L_D$. For early intermediate times, the similar graph yields a straight line which has a slope of $0.2878/L_D$. In the same fashion the late intermediate time straight line has a slope 0.576 and late time straight line has a slope 1.151 .

In this study the beginning and the ending times of flow regimes were investigated for wide ranges of reservoir and fluid parameters. The dimensionless well length L_D was chosen as 1, 5, 10, 100, the dimensionless fracture transfer coefficient λ' was chosen as $1E-3 \leq \lambda' \leq 1E+3$, and the dimensionless matrix storativity, ω' was chosen as $10 \leq \omega' \leq 100$.

The computer program which was used to compute pressure and derivative responses is given in EK-A. The procedures which were used to compute the integrals and the series in the solution are discussed in [15]. Plots of P_0 and $dP_0/d\ln t_0$ vs. t_0 are shown in EK-B and the tables of P_0 and $dP_0/d\ln t_0$ in EK-C.

The following observations were made about the flow regimes;

Flow regime 1 (early time approximation) was evident only for small values of $\lambda'\omega'$ product. The maximum value of $\lambda'\omega'$ at which Flow regime 1 existed increased as L_D increased. This flow regime was observed only during the early radial flow period in the reservoir.

Flow regime 2 (intermediate time approximation) was not detected for $\omega' \leq 10$ and for $L_D \geq 100$. It was evident only during pseudoradial flow period in the reservoir (late intermediate time). The straight line corresponding to the early intermediate time was evident only for large values of $\lambda'\omega'$ product and the one corresponding to the late intermediate time was observed for $\omega' \geq 1000$ and $\lambda' \leq 10^{-2}$.

Flow regime 3 (late time approximation) was only evident during pseudoradial flow period in the reservoir.

The results of this study indicate that the end of flow regime 1 is dictated by the end of the early radial flow period in the reservoir if $L_D \geq 5$, $\lambda'\omega' < L_D^2/1000$ and $L_D \leq 1.25$, $\lambda'\omega' \leq 0.1$. In this case the time at which Flow regime 1 ends, t_{DS1} , is the same as that for homogenous reservoirs and is given by

$$t_{DS1} = \begin{cases} \frac{6.7 \times 10^{-2}}{L_D^2} & (L_D \geq 5, \lambda'\omega' < \frac{L_D^2}{1000}) \\ 1.2 \times 10^{-2} & (L_D \leq 1.25, \lambda'\omega' < 0.1) \end{cases}$$

If $L_D \geq 5$, $\lambda'\omega' < L_D^2$ and $L_D \leq 1.25$; $\lambda'\omega' > 10$, then Flow regime 1 ends when flow from the matrix system to the fracture system begins. In this case the time for the end of Flow regime 1 is given by

$$t_{DS1} = \frac{2.8 \times 10^{-2}}{\lambda'\omega'}$$

Early intermediate time straight line becomes evident at times, t_{eb2} , given by

$$t_{eb2} = \frac{A}{\lambda' \omega'}$$

Here $340 \leq A \leq 380$ ($A=380$ for $L_b \geq 5$ and $A=340$ for $L_b \leq 1$). This correlation coincides with that given for the beginning of Flow regime 2 for vertical wells. No correlation was found for the end of early intermediate flow period. Similarly, it was not possible to obtain a correlation for the beginning of the late intermediate time straight line. The ending of the late intermediate time flow period, t_{es2} , however, is given by

$$t_{es2} = \frac{B \omega'}{\lambda'}$$

Here B takes values between 0.6 and 0.66 depending on the value of ω' .

If $\lambda' \leq 10^{-1}$, then Flow regime 3 begins at time

$$t_{rb3} = \frac{3.7 \omega'}{\lambda'}$$

which is the time for the beginning of Flow Regime 3 for vertical wells. If $\lambda' \geq 100$, then the beginning of Flow regime 3, t_{el3} , is given by

$$t_{el3} = 4.2 \omega'$$

When $\omega' = 10$, this correlation takes the form

$$t_{el3} = 4.6 \omega'$$

1. GİRİŞ

Sondaj teknolojisinin son yıllarda oldukça gelişmesi, yapılan teorik çalışmalarla yararlı olduğu bilinen fakat yakın zamana kadar geniş bir uygulama alanı bulamayan yatay kuyular konusunu gündeme getirmiştir. Özellikle kılınlığı düşük olan rezervuarlarda düşey kuyulara göre 2 - 6 kat verimlilik sağlamasının yanı sıra istenmeyen akışkan konileşmesine engel olması ve doğal çatlaklara daha kolay ulaşmasıyla oldukça önemli yararlarla sahip olan yatay kuyular, bazı sahalarda başarıyla uygulanmaya başlanmıştır. Yatay kuyuların homojen rezervuarlardaki verimliliği ve basınç davranışları üzerine pek çok araştırma yapılmıştır (örneğin [1] - [6]). Yatay kuyuların homojen rezervuarlardaki basınç davranışı kuyu içerisinde sonsuz iletkenlik (infinite conductivity) varsayımı kullanılarak incelenmiştir. Bu varsayım ve çözümler hakkında ayrıntılı bilgi [2] de verilmektedir. Yine [2] 'de yatay kuyular için verilen asimtotik çözümler aşağıdaki şekildedir:

Erken dönemde:

$$P_{wd} = \frac{1}{4L_D} (\ln t_D - \ln (\frac{r_{wd}}{L_D})^2 + 0.80907) \quad (1.1)$$

geç dönemde:

$$P_{wd} = \frac{1}{2} (\ln t_D + 2.80907) + \sigma(X_D, Y_D) + F(X_D, Z_{wd}, r_{wd}, L_D) \quad (1.2)$$

Bu bağıntılarda

$$P_D(x_D, y_D, z_D, z_{wD}, L_D, t_D) = \frac{kh}{141.2qB\mu} (P_1 - P(x, y, z, z_w, L, t)) \quad (1.3)$$

$$t_D = \frac{0.001055 \text{ } kt}{\phi C_c \mu L^2} \quad (1.4)$$

$$\begin{aligned} x_D &= \frac{2x}{L} \\ y_D &= \frac{2y}{L} \\ z_D &= \frac{z}{h} \\ z_{wD} &= \frac{z_w}{h} \\ r_{wD} &= \frac{r_w}{h} \sqrt{\frac{k_s}{k}} \end{aligned} \quad (1.5)$$

$$L_D = \frac{L}{2h} \sqrt{\frac{k_s}{k}} \quad (1.6)$$

$$\begin{aligned} o(x_D, y_D) &= \frac{1}{4} [(x_D - 1) \ln ((x_D - 1)^2 + y_D^2) \\ &\quad - (x_D + 1) \ln ((x_D + 1)^2 + y_D^2) \\ &\quad - 2y_D \arctan\left(\frac{2y_D}{(x_D + y_D - 1)}\right)] \end{aligned} \quad (1.7)$$

$$\begin{aligned} F(x_D, r_{wD}, z_{wD}, L_D) &= \\ \sum_{n=1}^{\infty} \cos n\pi (z_{wD} + r_{wD}) \cos n\pi z_{wD} \int_{-1}^{+1} K_0(r_D L_D n\pi) d\alpha &\quad (1.8) \\ r_D &= \sqrt{(x_D - \alpha)^2} \end{aligned}$$

Yukarıdaki bağıntıların elde edilmesinde rezervuarda iki boyutlu anizotropi olduğu varsayılmıştır. k_z düşey, k ise yatay yöndeki geçirgenliği göstermektedir (yatay yönde x ve y doğrultusundaki geçirgenliklerin birbirine eşit olduğu varsayılmıştır).

Denk. 1.1'in geçerli olduğu dönemde düşey düzlemde çevrel akış oluşurken, bir geçiş döneminden sonra, Denk. 1.2 ile verilen dönemde yatay düzlemde, yalancı çevrel akış meydana

gelir. Şekil 1 de bu akış dönemleri şematik olarak gösterilmiştir. Küçük zaman değerlerinde ortaya çıkan çevrel akış, rezervuarın alt ve üst sınırlarının etkileri hissedilmeye başladığı veya kuyu uçlarının ötesinden akış başladığı anda sona erer. Bu akış dönemlerinin varoluş zamanlarını veren bağıntılar aşağıdaki [2] eşitliklerle verilmiştir. Erken dönem için;

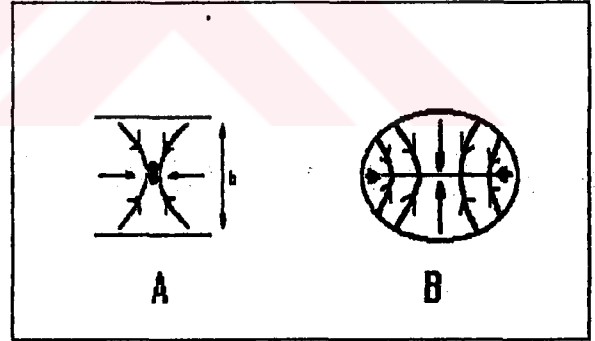
$$\left. \begin{array}{l} \frac{(1-x_D)^2}{20} \\ \frac{(z_D + z_{wD})^2}{(20L_D^2)} \\ \frac{[(z_D + z_{wD}) - 2]^2}{(20L_D^2)} \end{array} \right\} \min \geq t_D \quad (1.9)$$

Gec dönem için

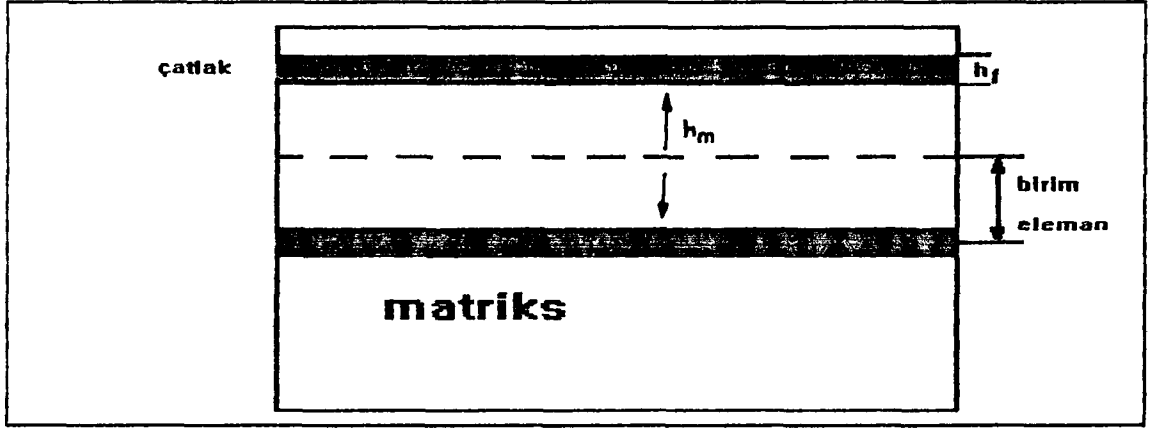
$$\left. \begin{array}{l} \frac{100}{(\pi L_D)^2} \\ 25 [(x_D - 1)^2 + y_D^2] \\ 25 [(x_D + 1)^2 + y_D^2] \end{array} \right\} \max \leq t_D \quad (1.10)$$

Homojen rezervuarlar üzerine yapılan çalışmaların oldukça zengin olmasına rağmen, doğal çatlaklı rezervuardaki yatay kuyuların basınç davranışları üzerine çok az çalışma yapılmıştır. Ülkemizdeki petrol sahalarının oldukça büyük bir bölümünün doğal çatlaklı olması bu konunun önemini

dahada arttırmaktadır. Literatürde doğal çatlaklı sistemlerde yatay kuyu uygulamaları üzerine yapılan çalışmalar arasında başlıca yeri Aguilera ve diğerleri,[7] ve Carvalho ve Rosa,[8]. tarafından sunulan bildiriler almaktadır. Bu çalışmalarda yatay kuyular için matematiksel bir model yardımıyla çift gözeneklilikli sistemlerde basınç davranışları araştırılmış ancak kayac akışkan



Şekil 1: Yatay kuyularda A)Erken B)Geç dönemde oluşan akış şekilleri.



Şekil 2: Kullanılan blok modelinin şematik görünümü.

parametrelerinin (λ ve ω) akış dönemleri üzerindeki etkileri detaylı olarak incelenmemiştir. Bu çalışmada özellikle doğal çatlaklı sistemler üzerine yapılan çalışmalar gözden geçirilerek yatay kuyular için akış dönemlerinin ortaya çıkışını belirleyen parametre aralıkları araştırılmıştır.

Doğal çatlaklı bir rezervuar çatlak ve matriks sistemlerinden oluşur. Çatlak sistemi çok yüksek geçirgenliğe sahip olmasına rağmen çok düşük depolama kapasitesine sahiptir. Bunun tersi matriks sistemi için geçerlidir, yani düşük geçirgenliklere karşın yüksek depolama kapasitesi matriks sisteminin karakteristik özelliğidir. Çatlaklı rezervuarlar üzerine yapılan araştırmalarda pek çok değişik model bu tip sistemleri tanımlamakta kullanılmıştır. Literatürde oldukça geniş bir yer tutan bu çalışmalardan bazıları [9-15] de görülmektedir. Bu modellerde kullanılan yaklaşımlar arasındaki temel fark matriks sisteminden çatlak sistemine akış şekli üzerinedir. Warren ve Root,[9] tarafından yapılan çalışmada bu akış için, yarı kararlı akış varsayımı kullanılarak analitik çözümler elde edilmiştir. Warren ve Root'un bu çalışmalarında rezervuar basınç davranışı özellikle iki parametreye bağlı olarak incelenmiştir; boyutsuz matriks depolama sabiti ω , ve boyutsuz çatlak transfer katsayısı λ . Daha sonra bu konuda çalışma yapan Ercemli,[10] kararsız akış varsayımını kullanarak çözümleri yapan nümerik simülasyon kullanılarak elde

ettiği sonuçları yarı kararlı akış sonuçlarıyla karşılaştırarak orta uzunluktaki zaman değerlerinde bir fark olduğunu göstermiştir. Daha sonra yine bu konuda çalışan de Swaan,[11] ve Najurieta,[12] kararsız akış için analitik çözümler yayınlamıştır. Bu çalışmalarda Şekil 2 de görülen üst üste dizilmiş matriks ve çatlak sistemlerinden oluşan bir model kullanılmıştır. Bu çözümleri kullanan Serra ve diğerleri,[13]. geçiş döneminde, erken ve geç dönem yarılog doğrularının yarı eğimine sahip üçüncü bir yarılog doğrunun varlığını açıklamıştır. Serra ve diğerleri,[13] tarafından yapılan bu çalışmada Warren ve Root,[9] tarafından tanımlanan λ ve ω parametreleri yerine aşağıdaki bağıntılarla verilen λ' ve ω' tanımları kullanılmıştır:

$$\begin{aligned}\lambda' &= 12 \left(\frac{k_m h_{mt}}{k_f h_f} \right) \left(\frac{r_w^2}{h_m^2} \right) \\ \lambda' &\approx \lambda \\ \omega' &= \frac{\phi_m C_m h_m}{\phi_f C_f h_f} \\ \omega' &= \frac{(1-\omega)}{\omega}\end{aligned}\tag{1.11}$$

Burada alt indis m ve f sırasıyla matriks ve çatlak sistemlerini göstermektedir. $h_{m1} = nh_m$ ve n üst üste dizilmiş matriks bloklarının (slab) sayısıdır. (Şekil 2)

Serra ve diğerlerinin doğal çatlaklı rezervuarlardaki düşey kuyuların basınç davranışlarını incelediği bu çalışmada da özellikle ara dönemde gözlenen ve ikinci akış rejimi olarak tanımlanan yarılogaritmik doğru ve analizi detaylı olarak verilmiştir. Yine aynı çalışmada λ' ve ω' a bağlı olarak bu ara rejime ve geç döneme ait başlangıç ve bitiş zamanlarını veren korelasyonlar ve akış dönemlerini tanımlayan asimtotik yaklaşımlar aşağıdaki şekildedir (zar etkisinin varlığı ihmal edilerek);
erken dönem için:

$$P_{wD} = \frac{1}{2} (\ln t_D + 0.80907) \tag{1.12}$$

ara dönem için:

$$P_{wD} = \frac{1}{4} (\ln t_D + 1.0409 - \ln(\frac{\lambda'\omega'}{3})) \quad (1.13)$$

geç dönem için:

$$P_{wD} = \frac{1}{2} (\ln t_D + 0.80907 - \ln(1+\omega')) \quad (1.14)$$

Bu bağıntılarda;

$$P_D = \frac{k_f h_f (P_i - P_f)}{141.2 q B \mu} \quad (1.15)$$

$$t_D = \frac{2.637 \times 10^{-4} k_f t}{\phi_f \mu r_w^2 C_c} \quad (1.16)$$

Bu yaklaşımlarda da görülebileceği gibi ara zaman için, t_c , P_{wD} yarılog grafiği eğimi 0.576 olan bir doğru verecektir. Aynı şekilde erken ve geç dönemler için elde edilecek yarılogaritmik doğrunun eğimi 1.151 olacaktır. Bu doğruların başlangıç ve bitiş zamanları (sırasıyla t_{Db} ve t_{Ds}) aşağıda verilmiştir [13].

Akışın çatlak sisteminden olduğu erken dönem için (birinci akış rejimi $\omega'=10$, $\lambda'=10^{-1}$);

$$t_{Ds1} \approx 5 \times 10^{+5} \quad (1.17)$$

Matriks ve çatlaktan birarada akışın olduğu ara dönem için (ikinci akış rejimi için başlangıç ve bitiş zamanları);

$$t_{Db2} = \frac{380}{\lambda'\omega'} \quad (1.18)$$

$$t_{Ds2} = \frac{A\omega'}{\lambda'} \quad (1.19)$$

Son eşitlikteki A değeri ω' a bağlı olarak 0.61 ile 0.65 arasında değişmektedir. Matriks sınır etkilerinin hissedildiği geç dönem (üçüncü akış rejimi) için beliren eğimi 1.151'e eşit olan yarılogaritmik doğrunun başlangıç

zamanı ise şu korelasyonla verilmektedir

$$t_{Dbs} = \frac{3.7\omega'}{\lambda'} \quad (1.20)$$

Bu çalışmada da yatay kuyuların gösterdiği akış dönemlerine ait boyutsuz zaman değerleri incelenerek, Serra ve diğerleri,[13] tarafından verilen korelasyonlarla karşılaştırılmıştır. Çatlaklı rezervuarlarda yatay kuyuların basınç davranışını veren bağıntısının elde edilmesi için kullanılan yöntem yine yukarıda anlatılan çalışmalara paraleldir. Doğal çatlaklı bir rezervuarda üretim yapan yatay bir kuyunun basınç davranışı homojen bir rezervuar için basınç denklemin Laplace transformunda s yerine $sf(s)$ yerleştirilerek, ters Laplace transformunun alınmasıyla elde edilebilir (Carvalho ve Rosa,[8]). Burada da Swaan-O,[11] modeli için $f(s)$ aşağıdaki bağıntıyla verilmektedir.

$$f(s) = 1 + \sqrt{\frac{\lambda'\omega'}{3s}} \tanh\left(\sqrt{\frac{3\omega's}{\lambda'}}\right) \quad (1.21)$$

Bu yöntem doğal çatlaklı rezervuarlar üzerine yapılan başlıca çalışmalarda da kullanılmıştır. Yöntemin ayrıntıları [8] de verilmiştir. Elde edilen bağıntısının analitik olarak ters Laplace transformunu almak mümkün olmadığından, basınç değerleri Stehfest,[16] algoritmi yardımıyla nümerik olarak elde edilmiştir. Akış dönemlerinin analiz edilebilmesi için gerekli olan geç (late time) erken (early time) ve ara (intermediate time) zaman çözümleri, ise asimtotik yaklaşımlarla bulunmuştur. Bu çalışmalar sonucunda, asimtotik çözümlerde de görülebilen, ara zamanda homojen rezervuardaki yatay kuyulardan farklı olarak iki yarılog doğru elde edilmiştir. Bu çalışmanın temel amacı doğal çatlaklı rezervuardaki yatay kuyuların basınç davranışlarının analizi için büyük önem taşıyan fakat şimdiye kadar ihmal edilmiş olan akış rejimlerinin ortaya çıkış koşullarını açıklamak ve kuyu testleri konusunda yapılacak olan çalışmalara ışık tutmaktır.

Çözümlerde kullanılan boyutsuz değişkenler aşağıdaki bağıntılarla verilmektedir;

$$P_D = \frac{k_f h_f}{141.2 \, q B \mu} (p_i - p_f) \quad (2.1)$$

$$t_D = \frac{1.055 \times 10^{-3} k_f t}{\phi_f C_f \mu L^2} \quad (2.2)$$

$$L_D = \frac{L}{2h} \sqrt{\frac{k_{fs}}{k_f}} \quad (2.3)$$

$$y_D = 2 \frac{Y}{L}$$

$$x_D = 2 \frac{X}{L}$$

$$z_D = \frac{Z}{h}$$

$$z_{wD} = \frac{z_w}{h}$$

$$r_{wD} = \frac{r_w}{h} \sqrt{\frac{k_{fs}}{k_f}}$$

(2.4)

$$\lambda' = 12 \left(\frac{k_m h_m}{k_f h_f} \right) \left(\frac{\left(\frac{L}{2} \right)^2}{h_m^2} \right)$$

(2.5)

$$\omega' = \frac{\phi_m C_m h_m}{\phi_f C_f h_f}$$

Sonsuz varsayılan ve homojen bir rezervuardaki yatay bir kuyunun basınç davranışını veren ifade aşağıdaki gibidir [2];

$$P_D = \frac{\sqrt{\pi}}{4} \int_0^{t_D} \left[\operatorname{erf}\left(\frac{1+x_D}{2\sqrt{\xi}}\right) + \operatorname{erf}\left(\frac{1-x_D}{2\sqrt{\xi}}\right) \right] \exp\left(-\frac{y_D^2}{4\xi}\right) \left[1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \exp(-n^2 \pi^2 L_D^2 \xi) \cos n \pi z_D \cos n \pi z_{wD} \right] \frac{d\xi}{\sqrt{\xi}} \quad (2.6)$$

Bu ifadede kuyudibi basınçlarını hesaplamak için $y_0 = 0$ ve $z_D = z_{v0} + r_{v0}$ kullanılır [2].

[2]'nin sonuçlarına göre bu çalışmada kullanılan boyutsuz kuyu uzunlukları için ($L_0 \geq 1$) $x_0 = 0.732$ değerinin kullanılması sonsuz iletkenlikli bir kuyunun basınç davranışını hesaplamada yeterince doğru sonuçlar verir. Daha öncede belirtildiği gibi basınç dekleminin çıkartılmasında Denklem 2.6'nın Laplace transformundan yararlanılabilir. Denklem 2.6'nın Laplace transformunun alınmasında aşağıdaki ifade yararlıdır;

$$\begin{aligned} & \left[\operatorname{erf} \frac{(1+x_D)}{2\sqrt{t_D}} + \operatorname{erf} \frac{(1-x_D)}{2\sqrt{t_D}} \right] \\ &= \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_{\frac{x_D-1}{2\sqrt{t_D}}}^{\frac{x_D+1}{2\sqrt{t_D}}} \exp(-u^2) du \end{aligned} \quad (2.7)$$

Bu ifadede aşağıdaki değişken dönüşümünü uygulayarak,

$$\begin{aligned} u &= \frac{x_D - \alpha}{2\sqrt{t_D}} \\ \alpha &= x_D - u 2\sqrt{t_D} \\ du &= - \frac{d\alpha}{2\sqrt{t_D}} \end{aligned}$$

Denklem 2.8 elde edilir.

$$\begin{aligned} & \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_{\frac{x_D-1}{2\sqrt{t_D}}}^{\frac{x_D+1}{2\sqrt{t_D}}} \exp(-u^2) du = \\ & \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_{-1}^{+1} \exp\left[-\frac{(x_D - \alpha)^2}{4t_D}\right] \left[-\frac{1}{2\sqrt{t_D}}\right] d\alpha \\ &= \frac{1}{\sqrt{\pi t_D}} \int_{-1}^{+1} \exp\left[-\frac{(x_D - \alpha)^2}{4t_D}\right] d\alpha \end{aligned} \quad (2.8)$$

Denklem 2.7 ve 2.8'i Denklem 2.6' da kullanırsak aşağıdaki ifade elde edilmektedir;

$$P_D = \frac{1}{4} \int_0^{t_D+1} \int_{-1}^{+1} \exp \left[-\frac{(x_D - \alpha)^2 + y_D^2}{4\xi} \right] d\alpha \left[1 + 2 \sum_{n=0}^{\infty} \exp(-n^2 \pi^2 L_D^2 \xi) \cos n \pi z_D \cos n \pi z_{wD} \right] \frac{d\xi}{\xi} \quad (2.9)$$

Bu bağıntıyı aşağıdaki şekilde yazabiliriz;

$$P_D = I_1 + F \quad (2.10)$$

Burada

$$I_1 = \frac{1}{4} \int_0^{t_D+1} \int_{-1}^{+1} \exp \left[-\frac{(x_D - \alpha)^2 + y_D^2}{4\xi} \right] d\alpha \frac{d\xi}{\xi} \quad (2.11)$$

$$F = \frac{1}{2} \sum_{n=0}^{\infty} \cos n \pi z_D \cos n \pi z_{wD} \int_{-1}^{+1} \int_0^{t_D} \exp(-n^2 \pi^2 L_D^2 \xi) \exp \left(-\frac{(x_D - \alpha)^2 + y_D^2}{4\xi} \right) \frac{d\xi}{\xi} \quad (2.12)$$

Laplace transformunu alarak, I_1 ve F için aşağıdaki ifadeler elde edilir;

$$\mathcal{L}(I_1) = \frac{1}{2s} \int_{-1}^{+1} K_0(\sqrt{s} r) d\alpha \quad (2.13)$$

$$\mathcal{L}(F) = \frac{1}{s} \sum_{n=1}^{\infty} \cos n \pi z_D \cos n \pi z_{wD} \int_{-1}^{+1} K_0(\sqrt{s + n^2 \pi^2 L_D^2} r_D) d\alpha \quad (2.14)$$

burada;

$$\tilde{r}_D = \sqrt{(x_D - \alpha)^2 + y_D^2} \quad (2.15)$$

Sonuc olarak

$$\begin{aligned} \mathcal{Q}(P_D) = \bar{P}_D = \bar{I}_1 + \bar{F} = & \frac{1}{2s} \int_{-1}^{+1} K_0(\sqrt{s} \tilde{r}_D) d\alpha \\ & + \frac{1}{s} \sum_{n=1}^{\infty} \cos n\pi z_D \cos n\pi z_{wD} \\ & \int_{-1}^{+1} K_0(\sqrt{s+n^2\pi^2 L_D^2} \tilde{r}_D) d\alpha \end{aligned} \quad (2.16)$$

Bölüm 1'de açıklandığı gibi, doğal çatlaklı rezervuarlar için yatay kuyu basınç denklemini elde edebilmek amacıyla Denklem 2.16'da s yerine $sf(s)$ kullanırsak

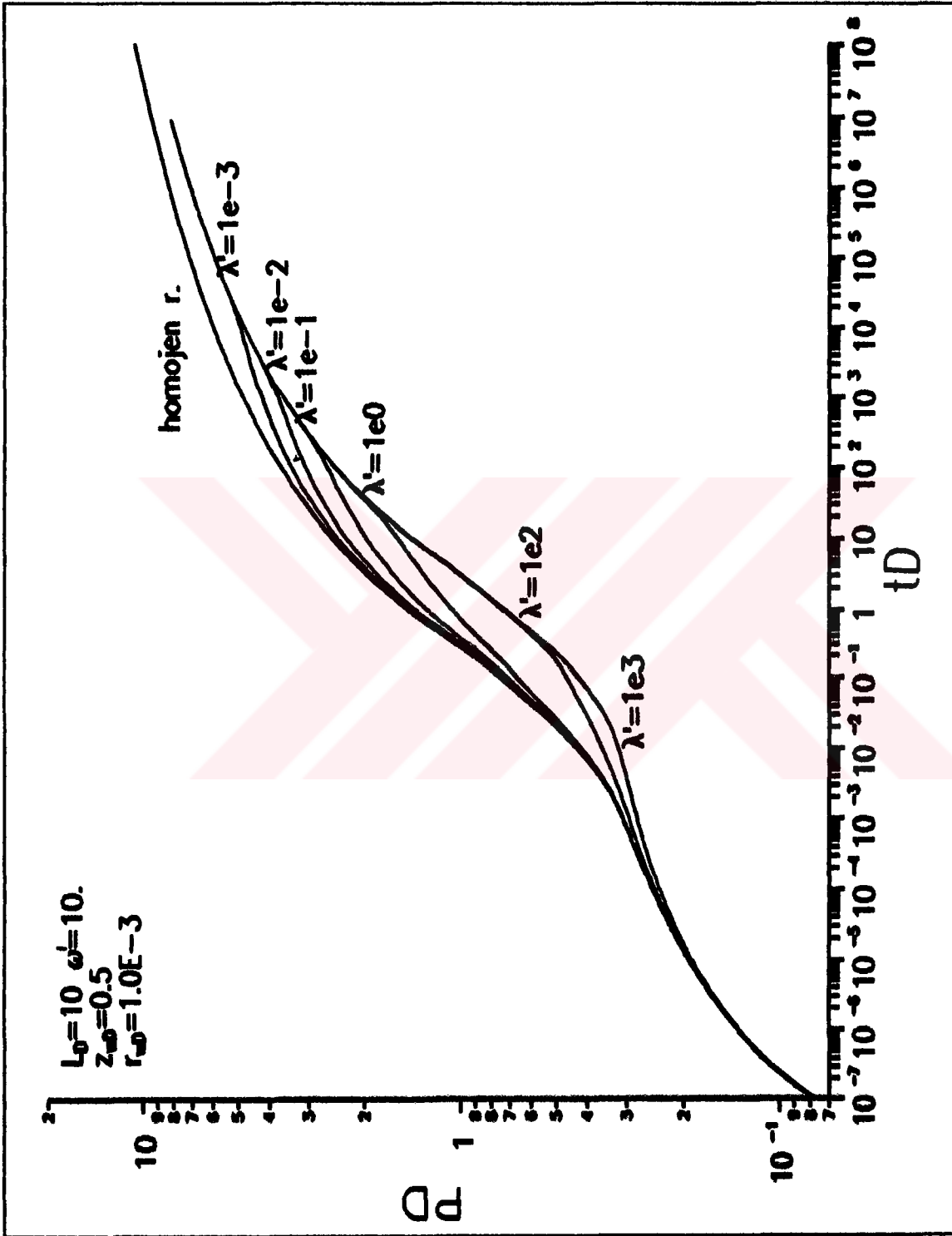
$$\begin{aligned} \bar{P}_D = \bar{I}_1 + \bar{F} = & \frac{1}{2s} \int_{-1}^{+1} K_0(\sqrt{sf(s)} \tilde{r}_D) d\alpha \\ & + \frac{1}{s} \sum_{n=1}^{\infty} \cos n\pi z_D \cos n\pi z_{wD} \\ & \int_{-1}^{+1} K_0(\sqrt{sf(s) + n^2\pi^2 L_D^2} \tilde{r}_D) d\alpha \end{aligned} \quad (2.17)$$

Burada;

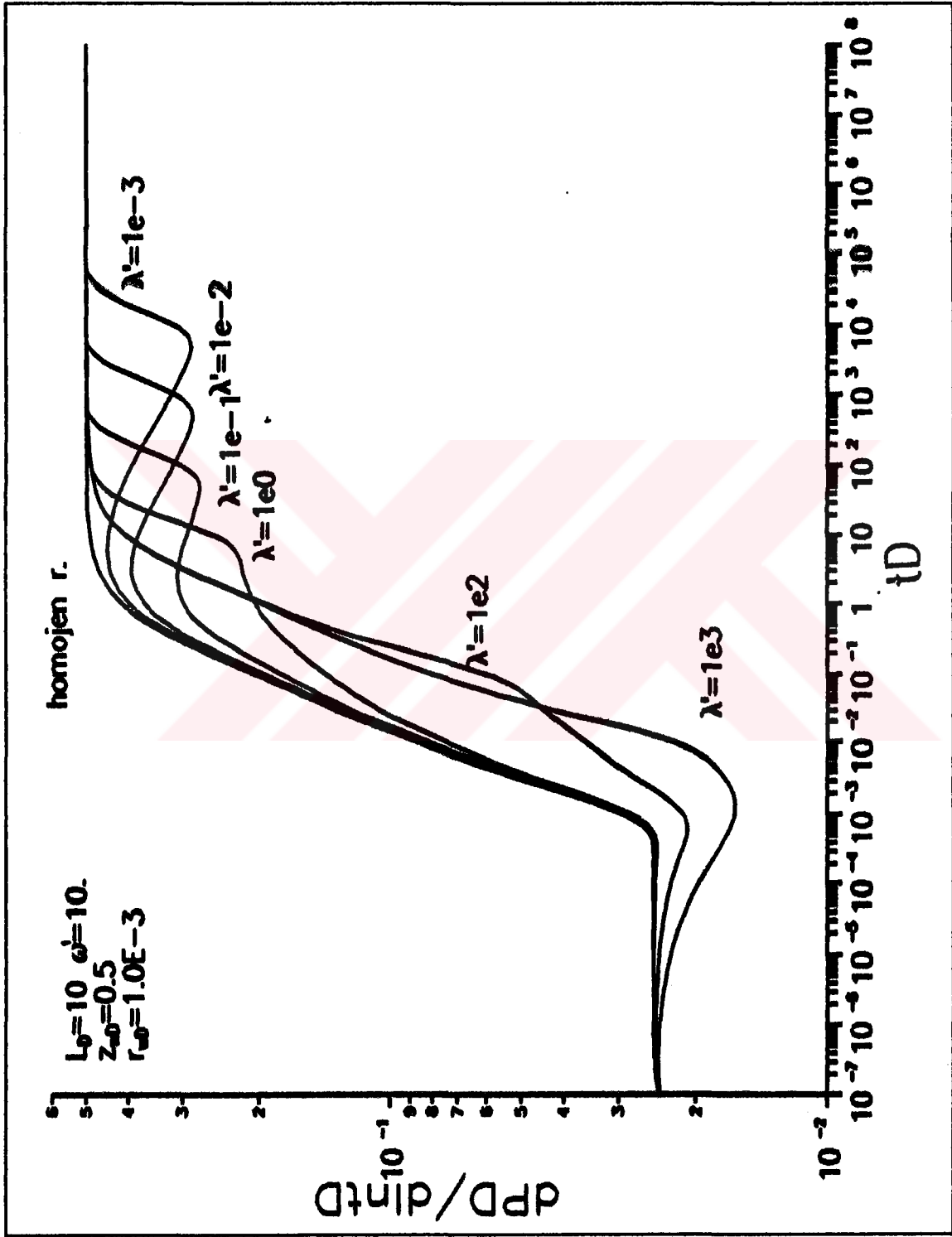
$$f(s) = 1 + \sqrt{\frac{\lambda' \omega'}{3s}} \tanh\left(\sqrt{\frac{3\omega' s}{\lambda'}}\right) \quad (2.18)$$

Denklem 2.17'deki integral ve serilerin sayısal olarak hesaplanmasında kullanılacak yöntemler [15] de açıklanmıştır. Bu denklemin Stehfest,[16] algoritmi kullanılarak nümerik olarak çözülmesiyle, elde edilen doğal çatlaklı rezervuarda yatay bir kuyunun tipik basınç ve türev davranışları Şekil 4 ve 5 de görülmektedir.

Çözümlerin elde edilmesinde kullanılan bilgisayar programı EK-A' da, $L_D=1, 5, 10, 100$ ve $10 \leq \omega' \leq 1000$, $1E3 \leq \lambda' \leq 1E+3$ değerleri için basınç ve türev grafikleri EK-B'de, basınç ve türev tabloları EK-C'de sunulmuştur.



Şekil 4: Doğal Çatlaklı Bir Rezervuardaki Yatay Bir Kuyunun
 Tipik Basınç Davranışı ($L_0=10$ ve $\omega'=10$)



3.ÇATLAKLI REZERVUARLARDA YATAY BİR KUYUNUN BASINÇ DENKLEMİNİN ASİMTOTİK ÇÖZÜMLERİ.

Doğal çatlaklı bir rezervuarda yatay bir kuyunun basınç davranışını veren Denklem 2.17'nin asimtotik çözümleri aşağıdaki şekilde bulunabilir;

3.1. Erken Dönem Yaklaşımı

Zamanın küçük değerleri için geçerli olan asimtotik bir ifade Denklem 2.17'nin s sonsuza giderken limitini değerlendirerek elde edilebilir. Zamanın küçük değerleri için [13];

$$\lim_{s \rightarrow \infty} sf(s) = s \quad (3.1)$$

alabiliriz.

Önce I_1 fonksiyonunu değerlendirelim:

$$\lim_{s \rightarrow \infty} \bar{I}_1 = \frac{1}{2s} \int_{-1}^{+1} K_0(\sqrt{s} \bar{r}_D) d\alpha \quad (3.2)$$

Denklem 3.2'nin değerlendirilmesinde aşağıdaki bağıntılar kullanılabilir:

$$K_0(x) = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} \exp\left(-\xi - \frac{x^2}{4\xi}\right) \frac{d\xi}{\xi} \quad (3.3)$$

$$\begin{aligned} & \int_{-1}^{+1} \exp\left(-\frac{(z-\alpha)^2 u}{4\xi}\right) d\alpha \\ &= \frac{\sqrt{\pi\xi}}{\sqrt{u}} \left[\operatorname{erf} \frac{(1-z)\sqrt{u}}{2\sqrt{\xi}} + \operatorname{erf} \frac{(1+z)\sqrt{u}}{2\sqrt{\xi}} \right] \end{aligned} \quad (3.4)$$

$$\begin{aligned} \lim_{s \rightarrow \infty} \left[\operatorname{erf} \frac{(1+x_D)\sqrt{s}}{2\sqrt{\xi}} + \operatorname{erf} \frac{(1-x_D)\sqrt{s}}{2\sqrt{\xi}} \right] &= \beta \\ \beta &= 2 \quad (|x_D| < 1) \\ \beta &= 1 \quad (|x_D| = 1) \\ \beta &= 0 \quad (|x_D| > 1) \end{aligned} \quad (3.5)$$

Bu durumda;

$$\begin{aligned}
 \lim_{s \rightarrow \infty} \bar{I}_1 &= \frac{1}{2s} \int_{-1}^{+1} \frac{1}{2} \int_0^{\infty} \left(-\xi - \frac{sy_D^2}{4\xi} \right) \frac{d\xi}{\xi} d\alpha \\
 &= \frac{\sqrt{\pi}}{4s} \int_0^{\infty} \exp(-\xi) \exp\left(-\frac{sy_D^2}{4\xi}\right) \\
 &\quad \left[\operatorname{erf} \frac{(1+x_D)\sqrt{s}}{2\sqrt{\xi}} + \operatorname{erf} \frac{(1-x_D)\sqrt{s}}{2\sqrt{\xi}} \right] \frac{d\xi}{\sqrt{\xi}s}
 \end{aligned} \quad (3.6)$$

Hata fonksiyonları ve β için Denklem 3.5' le verilen ifadeyle Denklem 3.3 ve 3.4 kullanılarak Denklem 3.6 yeniden düzenlenirse:

$$\bar{I}_1 = \frac{\sqrt{\pi}\beta}{4s} \int_0^{\infty} \exp(-\xi) \exp\left(-\frac{sy_D^2}{4\xi}\right) \frac{d\xi}{\sqrt{s\xi}} \quad (3.7)$$

elde edilir. Eşitliğin sağ tarafındaki integral değerlendirilirse aşağıdaki ifade elde edilir:

$$\bar{I}_1 = \frac{\pi\beta}{4s^{3/2}} \exp(y_D\sqrt{s}) \quad (3.8)$$

Şimdi $\bar{F}$ fonksiyonunu değerlendirelim.

$$\begin{aligned}
 \lim_{s \rightarrow \infty} \bar{F} &= \frac{1}{s} \sum_{n=1}^{\infty} \cos n\pi z_D \cos n\pi z_{wD} \\
 &\quad \int_{-1}^{+1} K_0(\sqrt{s+n^2\pi^2 L_D^2} \rho_D) d\alpha
 \end{aligned} \quad (3.9)$$

Yukarıdaki $\bar{I}_1$ fonksiyonu için uyguladığımız yöntemi kullanırsak

$$\begin{aligned}
 \lim_{s \rightarrow \infty} \bar{F} &= \frac{\pi\beta}{2s} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos n\pi z_D \cos n\pi z_{wD}}{\sqrt{s+n^2\pi^2 L_D^2}} \\
 &\quad \exp\left(-|y_D|\sqrt{s+n^2\pi^2 L_D^2}\right)
 \end{aligned} \quad (3.10)$$

Kaynak 15'de verilen aşağıdaki bağıntı yardımıyla;

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos n\pi z_w \cos n\pi z}{\sqrt{s+n^2\pi^2 L_D^2}} \exp(-y_D \sqrt{s+n^2\pi^2 L_D^2}) = \\ \frac{1}{2\pi L_D} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left(K_0 \left[\sqrt{\frac{(z-z_w-2n)^2}{L_D^2} + y^2 \sqrt{s}} \right] \right. \\ \left. + K_0 \left[\sqrt{\frac{(z+z_w-2n)^2}{L_D^2} + y^2 \sqrt{s}} \right] \right) \\ - \frac{\exp(-y\sqrt{s})}{2\sqrt{s}} \end{aligned} \quad (3.11)$$

Denklem 3.10'u Denklem 3.12 de verilen şekliyle yazabiliriz.

$$\begin{aligned} \lim_{s \rightarrow \infty} \bar{F} = \frac{\beta}{4L_D s} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left[K_0 \left(\sqrt{\frac{(z_D - z_{wD} - 2n)^2}{L_D^2} + y_D^2 \sqrt{s}} \right) \right. \\ \left. + K_0 \left(\sqrt{\frac{(z_D + z_{wD} - 2n)^2}{L_D^2} + y_D^2 \sqrt{s}} \right) \right] \\ - \frac{\pi \beta}{4s^{3/2}} \exp(-|y_D| \sqrt{s}) \end{aligned} \quad (3.12)$$

Denklem 3.12 ve 3.8'in toplanmasıyla

$$\begin{aligned} \lim_{s \rightarrow \infty} \bar{P}_D = \frac{\beta}{4L_D s} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left[K_0 \left(\sqrt{\frac{(z_D - z_{wD} - 2n)^2}{L_D^2} + y_D^2 \sqrt{s}} \right) \right. \\ \left. + K_0 \left(\sqrt{\frac{(z_D + z_{wD} - 2n)^2}{L_D^2} + y_D^2 \sqrt{s}} \right) \right] \end{aligned} \quad (3.13)$$

Bessel fonksiyonlarının özelliklerinden yararlanarak aşağıdaki ifadeyi yazabiliriz

$$\begin{aligned} \lim_{s \rightarrow \infty} K_0 \left(\sqrt{\frac{(z_D \pm z_{wD} - 2n)^2}{L_D^2} + y_D^2 \sqrt{s}} \right) \\ < < K_0 \left(\sqrt{\frac{(z_D - z_{wD})^2}{L_D^2} + y_D^2 \sqrt{s}} \right) \end{aligned} \quad (3.14)$$

Bu durumda

$$\lim_{s \rightarrow \infty} P_D = \frac{\beta}{4L_D s} K_0(\sqrt{z_D - z_{wD}})^2 / L_D^2 + y_D^2 \sqrt{s} \quad (3.15)$$

Ters Laplace transformu alınarak erken dönem için aşağıdaki ifade elde edilir;

$$\begin{aligned} P_D &= - \frac{\beta}{4L_D} E_1 - \left[\frac{(z_D - z_{wD})^2 / L_D^2 + y_D^2}{4t_D} \right] \\ &\approx \frac{\beta}{4L_D} [\ln t_D - \ln(\frac{(z_D - z_{wD})^2}{L_D^2} + y_D^2) + 0.80907] \end{aligned} \quad (3.16)$$

Burada β Denk. 3.5'le verilir.

3.2. Geç Dönem Yaklaşımı

Geç dönem için yaklaşık çözüm Denklem 2.17 nin s sıfıra giderken limitini değerlendirerek bulunabilir Bu durumda $f(s)$ aşağıdaki ifade ile verilir [13].;

$$\lim_{s \rightarrow 0} f(s) = 1 + w' \quad (3.17)$$

K_0 için s 'in küçük değerlerinde aşağıdaki yaklaşım kabul edilebilir;

$$\lim_{s \rightarrow 0} K_0(a\sqrt{x}) = -\ln\left(\frac{e^\gamma a\sqrt{x}}{2}\right) \quad (3.18)$$

Denklem 3.17 ve 3.18'i kullanarak $\bar{I}_1$ fonksiyonu (Denk. 2.13) aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$\begin{aligned} \lim_{s \rightarrow 0} \bar{I}_1 &= \frac{1}{2s} \int_{-1}^{+1} K_0(\sqrt{s(1+w')}) P_D d\alpha \\ &= - \frac{1}{2s} \int_{-1}^{+1} (\gamma + \ln P_D + \ln \sqrt{s(1+w')} - \ln 2) d\alpha \end{aligned} \quad (3.19)$$

Denklem 3.19'un integralini alarak

$$\begin{aligned} \bar{I}_1 &= - \frac{1}{2s} \ln s + \frac{1}{2s} \ln 4 - \frac{\gamma}{s} \\ &\quad - \frac{\ln 1+w'}{2s} + \frac{1+\sigma(x_D, y_D)}{s} \end{aligned} \quad (3.20)$$

elde edilir. Burada

$$\begin{aligned} \sigma(x_D, y_D) = & 0.25 [(x_D-1) \ln(y_D^2 + (x_D-1)^2) \\ & - (x_D+1) \ln(y_D^2 + (x_D+1)^2) \\ & - 2y_D \arctan(\frac{2y_D}{(x_D^2 + y_D^2 - 1)})] \end{aligned} \quad (3.21)$$

Denklem 3.20'nin ters Laplace transformu alındığında I_1 için aşağıdaki ifade bulunur;

$$I_1 = 0.5 [\ln t_D + 2.80907 - \ln(1+w')] + \sigma(x_D, y_D) \quad (3.22)$$

$\bar{F}$ fonksiyonunu değerlendirmek için s 'in küçük olduğu durumlarda aşağıdaki yaklaşım kabul edilebilir

$$\lim_{s \rightarrow 0} (sf(s) + n^2 \pi^2 L_D^2) = n^2 \pi^2 L_D^2 \quad (3.23)$$

bu durumda

$$\lim_{s \rightarrow 0} \bar{F} = \frac{1}{s} \sum_{n=1}^{\infty} \cos n \pi z_D \cos n \pi z_{wD} \int_{-1}^{+1} K_0(n \pi L_D \tilde{r}_D) d\alpha \quad (3.24)$$

ters Laplace transformu alınarak

$$F = \sum_{n=1}^{\infty} \cos n \pi z_D \cos n \pi z_{wD} \int_{-1}^{+1} K_0(n \pi L_D \tilde{r}_D) d\alpha \quad (3.25)$$

Sonuç olarak geç dönem için aşağıdaki ifadeyi yazabiliriz;

$$P_D = 0.5 (\ln t_D + 2.80907 - \ln(1+w')) + \sigma(x_D, y_D) + F \quad (3.26)$$

3.3 Ara Dönem Yaklaşımları

Ara dönem analizi için iki yaklaşım kullanılabilir. Bunlardan birincisi s 'in büyük (erken dönem), ikincisi ise küçük (geç dönem) olduğu fakat her iki durumda da $f(s)$ için Serra ve diğerleri^[13] tarafından verilen aşağıdaki ifadenin geçerli olduğu varsayımıdır.

$$f(s) = \sqrt{\frac{\lambda' \omega'}{3s}} \quad (3.27)$$

3.3.1. Erken Ara Dönem Yaklaşımı

Yukarıda açıklandığı gibi bu dönem için;

$$sf(s) = s \sqrt{\frac{\lambda' \omega'}{3s}} \quad (3.28)$$

yaklaşımını kullanarak $\bar{I}_1$ fonksiyonunu aşağıdaki gibi yazabiliriz;

$$\bar{I}_1 = \frac{1}{2s} \int_{-1}^{+1} K_0 \left(\sqrt[4]{\frac{s\lambda'\omega'}{3}} r_D \right) d\alpha \quad (3.29)$$

Denklem 3.3 ve 3.4 kullanılarak Denklem 3.29 yeniden düzenlenirse;

$$\bar{I}_1 = \frac{1}{2s} \int_{-1}^{+1} \frac{1}{2} \int_0^{\infty} \exp \left(-\xi - \sqrt{\frac{\lambda'\omega'/s}{3}} \frac{r_D}{4\xi} \right) \frac{d\xi}{\xi} d\alpha \quad (3.30)$$

veya

$$\begin{aligned} \bar{I}_1 = \frac{1}{4s} \int_0^{\infty} \exp(-\xi) & \frac{\sqrt{\pi\xi}}{\sqrt[4]{\frac{s\lambda'\omega'}{3}}} \\ & \left[\operatorname{erf} \frac{(1+x_D) \sqrt[4]{\frac{s\lambda'\omega'}{3}}}{2\sqrt{\xi}} \right. \\ & \left. + \operatorname{erf} \frac{(1-x_D) \sqrt[4]{\frac{s\lambda'\omega'}{3}}}{2\sqrt{\xi}} \right] \frac{d\xi}{\xi} \end{aligned} \quad (3.31)$$

Erken dönem için s sonsuza giderken Denklem 3.5'den yararlanarak Denklem 3.31 yeniden düzenlenirse;

$$\lim_{s \rightarrow \infty} \bar{I}_1 = \frac{\sqrt{\pi} \beta}{4s} \int_0^{\infty} \exp(-\xi) \exp\left(-\sqrt{\frac{s\lambda'\omega'}{3}} \frac{y_D^2}{4\xi}\right) \frac{d\xi}{\sqrt{\xi} \sqrt[4]{\frac{s\lambda'\omega'}{3}}} \quad (3.32)$$

Denklem 3.32' deki integrali değerlendirerek;

$$\lim_s \bar{I}_1 = \frac{\pi \beta}{4 \sqrt[4]{\frac{s\lambda'\omega'}{3}} s} \exp(-|y_D| \sqrt[4]{\frac{s\lambda'\omega' s}{3}}) \quad (3.33)$$

elde edilir. Benzer şekilde

$$\bar{F} = \frac{1}{s} \sum_{n=1}^{\infty} \cos n\pi z_D \cos n\pi z_{wD} \int_{-1}^{+1} K_0\left(\sqrt{\sqrt{\frac{s\lambda'\omega'}{3}} + n^2 \pi^2 L_D^2} F_D\right) da \quad (3.34)$$

Denklem 3.3 ve 3.4 kullanılarak;

$$\lim_{s \rightarrow \infty} \bar{F} = \frac{\pi \beta}{2s} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos n\pi z_D \cos n\pi z_{wD}}{\sqrt{\sqrt{\frac{s\lambda'\omega'}{3}} + n^2 \pi^2 L_D^2}} \exp(-|y_D| \sqrt{\sqrt{\frac{s\lambda'\omega'}{3}} + n^2 \pi^2 L_D^2}) \quad (3.35)$$

ve Denklem 3.11' in yardımıyla;

$$\begin{aligned} \lim_{s \rightarrow \infty} \bar{F} = & \frac{\beta}{4L_D s} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \left[K_0\left(\sqrt{\frac{(z_D - z_{wD} - 2n)^2}{L_D^2} + y_D^2} \sqrt[4]{\frac{s\lambda'\omega'}{3}}\right) \right. \\ & \left. + K_0\left(\sqrt{\frac{(z_D + z_{wD} - 2n)^2}{L_D^2} + y_D^2} \sqrt[4]{\frac{s\lambda'\omega'}{3}}\right) \right] \\ & - \frac{\pi \beta}{4s \sqrt[4]{\frac{s\lambda'\omega'}{3}}} \exp(-|y_D| \sqrt[4]{\frac{s\lambda'\omega'}{3}}) \end{aligned} \quad (3.36)$$

Denklem 3.32 ve 3.36 toplanarak;

$$\begin{aligned} \bar{P}_D &= \frac{\beta}{4L_D s} \\ \sum_{n=1}^{\infty} [&K_0 \left(\sqrt{\frac{(z_D - z_{wD} - 2n)^2}{L_D^2} + y_D^2} \sqrt[4]{\frac{s\lambda'\omega'}{3}} \right) \\ &+ K_0 \left(\sqrt{\frac{(z_D + z_{wD} + 2n)^2}{L_D^2} + y_D^2} \sqrt[4]{\frac{s\lambda'\omega'}{3}} \right)] \end{aligned} \quad (3.37)$$

elde edilir. Daha önce gösterildiği gibi (Denklem 3.14);

$$\begin{aligned} \lim_{s \rightarrow \infty} K_0 \left(\sqrt{\frac{(z_D \pm z_{wD} - 2n)^2}{L_D^2} + y_D^2} \sqrt[4]{\frac{s\lambda'\omega'}{3}} \right) \\ < \lim_{s \rightarrow \infty} K_0 \left(\sqrt{\frac{(z_D - z_{wD})^2}{L_D^2} + y_D^2} \sqrt[4]{\frac{s\lambda'\omega'}{3}} \right) \end{aligned} \quad (3.38)$$

Bu durumda

$$\lim_{s \rightarrow \infty} \bar{P}_D = \frac{\beta}{4L_D s} K_0 \left(\sqrt{\frac{(z_D - z_{wD})^2}{L_D^2} + y_D^2} \sqrt[4]{\frac{s\lambda'\omega'}{3}} \right) \quad (3.39)$$

K_0 için Denk. 3.18'de verilen logaritmik yaklaşımı kullanarak;

$$\begin{aligned} \bar{P}_D &= \frac{\beta}{4L_D s} \\ (-\gamma - \ln r_D - \frac{1}{4} \ln s - \frac{1}{4} \ln \frac{\lambda'\omega'}{3} + \ln 2) \end{aligned} \quad (3.40)$$

yazabiliriz. Bu ifadede

$$r_D = \frac{(z_D - z_{wD})^2}{L_D^2} + y_D^2$$

Sonuç olarak;

$$P_D = \frac{\beta}{16L_D} (\ln t_D - \ln \frac{\lambda'\omega'}{3} - \ln r_D^2 + 1.04099) \quad (3.41)$$

3.3.2. Geç Ara Dönem Yaklaşımı

Bu dönem için $\bar{I}_1$, fonksiyonunu aşağıdaki gibi yazabiliriz.

$$\bar{I}_1 = \frac{1}{2s} \int_{-1}^{+1} K_0 \left(\sqrt{\frac{s\lambda'\omega'}{3}} \tilde{r}_D \right) d\alpha \quad (3.42)$$

K_0 için Denklem 3.18 ile verilen logaritmik yaklaşımı kullanılırsa, geç dönem için;

$$\lim_{s \rightarrow 0} \bar{I}_1 = - \frac{1}{2s} \int_{-1}^{+1} \ln \left(\frac{e^{\gamma \tilde{r}_D} \sqrt{\frac{s\lambda'\omega'}{3}}}{2} \right) d\alpha \quad (3.43)$$

elde edilir. Bu ifadedeki integral değerlendirilirse

$$\lim_{s \rightarrow 0} \bar{I}_1 = - \frac{\gamma}{s} \ln \sqrt{\frac{\lambda'\omega'}{3}} + \frac{\ln 4}{2s} - \frac{\ln s}{4s} + \frac{1 + \sigma(x_D, y_D)}{s} \quad (3.44)$$

Burada $\sigma(x_D, y_D)$ Denk. 3.21 ile verilir. Bu ifadenin ters Laplace transformu alınarak;

$$I_1 = \frac{1}{4} \left(\ln t_D - \ln \left(\frac{\lambda'\omega'}{3} \right) + 5.04099 \right) + \sigma(x_D, y_D) \quad (3.45)$$

bulunur. Daha önce geç dönem için kullandığımız yaklaşımla (Denk 3.22) $\bar{F}$ fonksiyonunu değerlendirirsek

$$\lim_{s \rightarrow 0} \bar{F} = \frac{1}{s} \sum_{n=1}^{\infty} \cos n\pi z_D \cos n\pi z_{wD} \int_{-1}^{+1} K_0(n\pi L_D \tilde{r}_D) d\alpha \quad (3.46)$$

ve ters Laplace transformunu alırsak

$$F = \sum_{n=1}^{\infty} \cos n\pi z_D \cos n\pi z_{wD} \int_{-1}^{+1} K_0(n\pi L_D \tilde{r}_D) d\alpha \quad (3.47)$$

elde ederiz.

Sonuç olarak;

$$P_D = \frac{1}{4} \left(\ln t_D - \ln \left(\frac{\lambda' \omega'}{3} \right) + 5.04099 \right) + \sigma(X_D, Y_D) + F' \quad (3.48)$$

bulunur.

4. KARAKTERİSTİK AKIŞ DAVRANIŞLARI

Doğal çatlaklı bir rezervuardaki yatay kuyuların basınç davranışlarının incelendiği bu çalışmada literatürde homojen rezervuarlardaki yatay kuyular için verilen erken ve geç dönem akış rejimlerine ilave olarak, ara dönemde ortaya çıkan ve iki ayrı yarılogaritmik doğru ile karakterize edilen yeni akış dönemleri gözlenmiştir. Bunlar erken ara ve geç ara dönemler olarak adlandırılmışlardır. Bu akış dönemlerinin karakteristikleri ve varoluş koşulları aşağıda tartışılmıştır.

4.1 Doğal Çatlaklı Rezervuarlardaki Yatay Kuyuların Akış Rejimleri.

Ek-B de verilen şekillerde t_D ye karşılık $dP_D/d\ln t_D$ nin değişik λ' , ω' ve L_D değerleri için logaritmik grafikleri görülmektedir. Bu grafiklerde zar faktörü sıfır kabul edilerek λ' , ω' ve L_D 'nin basınç üzerindeki etkileri incelenmiştir. İnceleme aralığı $1e-3 \leq \lambda' \leq 1e3$, $10 \leq \omega' \leq 1000$ ve $L_D = 1, 5, 10$ ve 100 şeklinde seçilmiştir. Bütün şekillerde $r_{wD} = 1E-3$ ve $z_{wD} = 0.5$ alınmıştır.

Tablo 1: $L_D = 1$ için akış rejimleri.

$\lambda' \backslash \omega'$	Erken dönem			Geç dönem		
	10	100	1000	10	100	1000
1E-3	R1	R1	R1	R3	R2, R3	R2, R3
1E-2	R1	R1	R1	R3	R2, R3	R2, R3
1E-1	R1	R1	R1	R3	R3	R3
1E 0	R1	R1		R3	R3	R3
1E 1	R1	R2	R2	R3	R3	R3
1E 2		R2	R2	R3	R3	R3
1E 3		R2	R2	R3	R3	R3

Üçüncü bölümde gösterildiği gibi doğal çatlaklı bir rezervuardaki yatay bir kuyunun basınç davranışı üç akış rejimi göstermektedir.

Tablo 2: $L_0 = 5$ için akış rejimleri.

$\lambda' \backslash \omega'$	Erken dönem			Geç dönem		
	10	100	1000	10	100	1000
1E-3	R1	R1	R1	R3	R2, R3	R2, R3
1E-2	R1	R1	R1	R3	R2, R3	R2, R3
1E-1	R1	R1	R1	R3	R3	R3
1E 0	R1	R1	R1	R3	R3	R3
1E 1	R1	R1	R1	R3	R3	R3
1E 2	R1		R2	R3	R3	R3
1E 3		R2	R2	R3	R3	R3

Tablo 3: $L_0 = 10$ için akış rejimleri.

$\lambda' \backslash \omega'$	Erken dönem			Geç dönem		
	10	100	1000	10	100	1000
1E-3	R1	R1	R1	R3	R2, R3	R2, R3
1E-2	R1	R1	R1	R3	R2, R3	R2, R3
1E-1	R1	R1	R1	R3	R3	R3
1E 0	R1	R1	R1	R3	R3	R3
1E 1	R1	R1	R1	R3	R3	R3
1E 2	R1		R2	R3	R3	R3
1E 3	R1		R2	R3	R3	R3

Tablo 4: $L_0 = 100$ için akış rejimleri

$\lambda' \backslash \omega'$	Erken dönem			Geç dönem		
	10	100	1000	10	100	1000
1E-3	R1	R1	R1	R3	R2, R3	R2, R3
1E-2	R1	R1	R1	R3	R2, R3	R2, R3
1E-1	R1	R1	R1	R3	R3	R3
1E 0	R1	R1	R1	R3	R3	R3
1E 1	R1	R1	R1	R3	R3	R3
1E 2	R1	R1	R1	R3	R3	R3
1E 3	R1	R1		R3	R3	R3

i) Birinci Akış Rejimi (R1)

Bu akış rejimi rezervuarda düşey düzlemde çevrel akışın varolduğu ve akışın sadece çatlak sisteminde olduğu küçük zaman değerlerinde gözlenir. Denklem 3.16 ile tanımlanan bu akış rejimi P_0-t_0 yarılog grafiğinde eğimi $0.25/L_0$ olan bir doğruyla karakterize edilir.

ii) İkinci Akış Rejimi (R2)

Bu akış rejimi matriks sisteminden çatlak sistemine akışın başladığı ara dönemi temsil eder. Eğer bu dönemde rezervuarda düşey düzlemde çevrel akış varsa bu dönem erken ara dönem olarak adlandırılır ve Denklem 3.41 ile tanımlanır. Bu dönemde $P_b - t_b$ yarılog grafiği eğimi $0.125/L_b$ olan bir doğru verir. Eğer matriksden çatlaka akışın başladığı dönemde rezervuarda yalnız çevrel akış oluşursa bu akış dönemi geç ara dönem olarak adlandırılır ve Denklem 3.48 ile tanımlanır. Geç ara dönemde $P_b - t_b$ yarılog grafiği eğimi 0.25 olan bir doğru verir.

iii) Üçüncü Akış Rejimi (R3)

Bu akış rejimi çatlak sisteminde depolanmış olan akışkanın tümüyle üretilmesinden sonra başlar. Bu dönemde üretilen bütün akışkan matriks sisteminde depolanmış olan akışkandır. Bu akış rejiminin ortaya çıktığı dönemde rezervuarda yalnız çevrel akış varsa bu dönem Denklem 3.26 ile tanımlanır ve $P_b - t_b$ yarılog grafiği eğimi 0.5 olan bir doğru verir.

Yukarıda tanımlanan akış dönemlerinin ortaya çıktığı parametre aralıkları Tablo 1-4'de verilmiştir. Bu tablolarda bir akış rejiminin varlığı için o rejime ait karakteristik yarılog doğrunun en az bir logaritmik devir gözlenmesi (eğimde $\pm 5\%$ 'lik hata ile) gerektiği varsayılmıştır. Akış dönemlerini gösteren yarılog doğruların varoluş koşulları λ', ω' ve L_b 'ye bağlı olarak araştırılmıştır. Birinci akış rejimi (R1) $\lambda' \omega'$ çarpımının küçük değerlerinde gözlenmiştir. Bu akış döneminin görülebileceği en büyük $\lambda' \omega'$ değeri L_b arttıkça artmaktadır. Tablo 1-4'de rezervuarda düşey düzlemde çevrel akışın olduğu zaman aralığı "Erken dönem", yatay düzlemde yalnız çevrel akışın olduğu zaman aralığında "Geç dönem" olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmada dikkate alınan bütün λ', ω' ve L_b değerleri için yalnızca çatlak sistemlerinde akışın olduğu birinci akış rejimi geç dönemde görülmemiştir. Buna karşılık erken dönemde $L_b \geq 10$ ve $\omega' \leq 10$

için bütün λ' değerlerinde görülmüş ve ω' arttıkça büyük λ' değerlerinde kaybolmuştur. Matriks sisteminden çatlak sistemine akışın başladığı ikinci akış rejimi (R2) hem erken dönemde (Erken ara dönem) hemde geç dönemde (Geç ara dönem) görülmüştür. İkinci akış rejimini karakterize eden yarılog doğru $\omega' \leq 10$ için erken ve geç dönemde hiçbir λ' ve L_0 değerinde görülmemiş, $L_0 \geq 100$ için ise sadece geç dönemde görülmüştür. Erken ara dönem yarılog doğrusu $\lambda' \omega'$ çarpımının büyük değerlerinde gözlenmiş ve bu doğrunun görülebildiği en küçük $\lambda' \omega'$ değeri L_0 arttıkça artmıştır. Geç ara dönem yarılog doğrusu ise bütün L_0 değerleri için $\omega' \geq 100$ ve $\lambda' \leq 10^{-1}$ değerlerinde görülmüştür. Bütün üretimin matriks sisteminden yapıldığı üçüncü akış rejimi (R3) sadece geç dönemde gözlenmiştir.

4.2. Akış Dönemlerinin Ortaya Çıktığı Zaman Aralıkları

İncelenen parametrelere bağlı olarak akış dönemlerinin ortaya çıktığı zaman aralıkları ve bu akış dönemlerine ait başlangıç ve bitiş zamanı korelasyonları her dönem için aşağıda verilmiştir.

4.2.1. Birinci Akış Rejimi (R1)

Denklem 3.15' le tanımlanan bu akış dönemi P_0 , t_0 yarılog grafiğinde eğimi $0.576/L_0$ olan bir doğruyla karakterize edilmektedir. Erken dönemi (birinci akış rejimi) gösteren bu yarılog doğru düşey kuyularda $\lambda' \omega'$ çarpımı büyürken kısalmaktadır (Serra ve diğerleri, [13]) Yatay kuyularda ise bu durum L_0 'ye bağlı olarak farklı özellikler göstermektedir. Bunun nedeni bu akış rejiminin sona ermesine farklı olayların yol açmasıdır. Esas olarak birinci akış rejimi ya düşey düzlemde çevrel akış sona erdiğinden ya da matriks sisteminden çatlak sistemine akış başladığından (hangisi önce oluşursa) sona erecektir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre $L_0 \geq 5$, $\lambda' \omega' < L_0^2/1000$ ve $L_0 \leq 1.25$, $\lambda' \omega' \leq 0.1$ olması halinde birinci akış rejimi düşey düzlemde çevrel akışın son bulması nedeniyle sona erer. Bu durumda bu akış rejiminin sona erme zamanı, t_{0s1} homojen rezervuarlarla aynıdır ve denklem 1.9 ile verilir. Ancak unutulmamalıdır ki denklem 1.9' dan hesaplanan

zaman değerleri yaklaşıktır. Bizim hesaplarımıza göre;

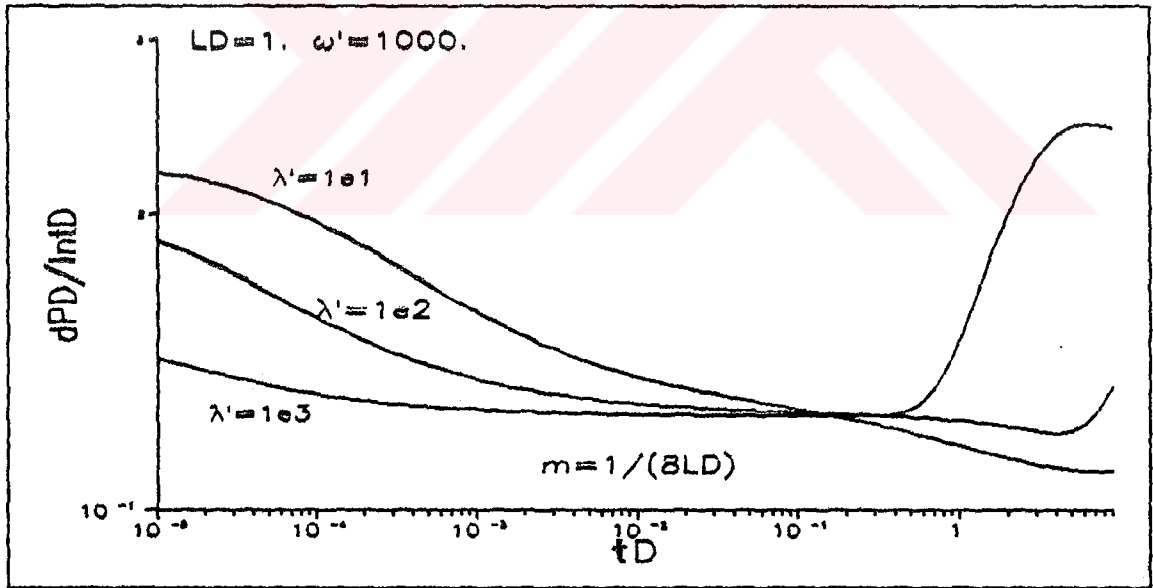
$$t_{DS1} = \begin{cases} \frac{6.7 \times 10^{-2}}{L_D^2} & (L_D \geq 5, \lambda' \omega' < \frac{L_D^2}{1000}) \\ 1.2 \times 10^{-2} & (L_D \leq 1.25, \lambda' \omega' < 0.1) \end{cases} \quad (4.1)$$

şeklindedir.

Yine bu çalışmanın sonuçlarına göre $L_D \geq 5$, $\lambda' \omega' < L_D^2$ ve $L_D \leq 1.25$, $\lambda' \omega' > 10$ için birinci akış rejimi matris sisteminden çatlak sistemine akışın başlaması nedeniyle sona erer. Bu durumda bu akış rejiminin sona erme zamanı

$$t_{stb} = \frac{2.8 \times 10^{-2}}{\lambda' \omega'} \quad (4.2)$$

şeklinde verilir.



şekil 6: $L_D = 1$ ve $\omega' = 1000$ için kısa ara dönem doğrusu.

4.2.2 İkinci Akış Rejimi (R2)

İkinci akış rejiminde Denklem 3.40 ve 3.47 ile belirlenen ve P_0 , t_0 grafiğinde eğimleri $0.289/L_0$ (erken ara dönem) ve 0.576 (geç ara dönem) olan yarılogaritmik doğrularla karakterize edilen iki ayrı akış dönemi gözlenmiştir.

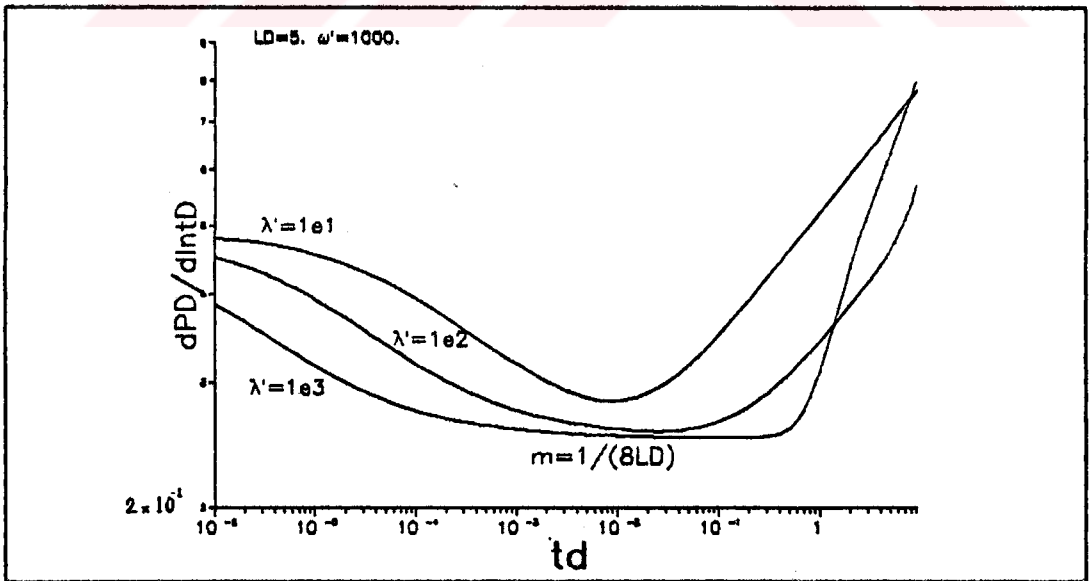
i) Erken Ara Dönem

Bu akış dönemini gösteren tipik türev zaman grafikleri Şekil 6 ve 7 de görülmektedir. Başlangıç zamanının daha önce düşey kuyular için verilen ara dönem korelasyonuna uyan, aşağıdaki ifadeyle verildiği görülmüştür;

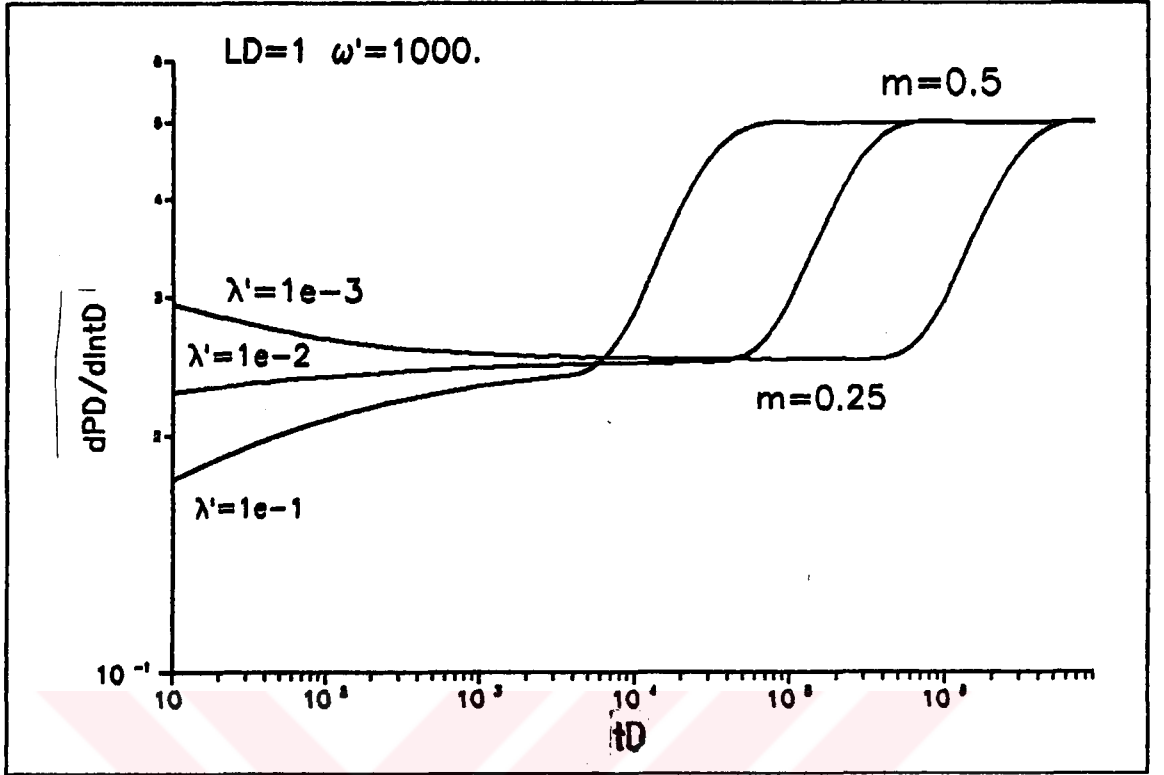
$$t_{db2} = \frac{A}{\lambda' \omega'} \quad (4.3)$$

Burada $340 \leq A \leq 380'$ dir. $L_0 \geq 5$ için $A=380$ ve $L_0 \leq 1$ için $A=340$ değeri bulunmuştur. Genel olarak $A=360$ kullanılabilir.

Bu akış rejiminin sona eriş zamanına ait herhangi bir korelasyon kurulamamıştır. λ' in büyümesi bu akış rejimini gösteren yarılog doğruyu kısaltırken ω' in artması bu doğruyu uzatmaktadır. Yine L_0 nin büyümesi bu rejimi gösteren yarılog doğruyu gittikçe kısaltmakta ve $L_0=100$ değerinde bu doğru tamamen yok olmaktadır.



Şekil 7: $L_0 = 5$ ve $\omega' = 1000$ için kısa ara dönem doğrusu.

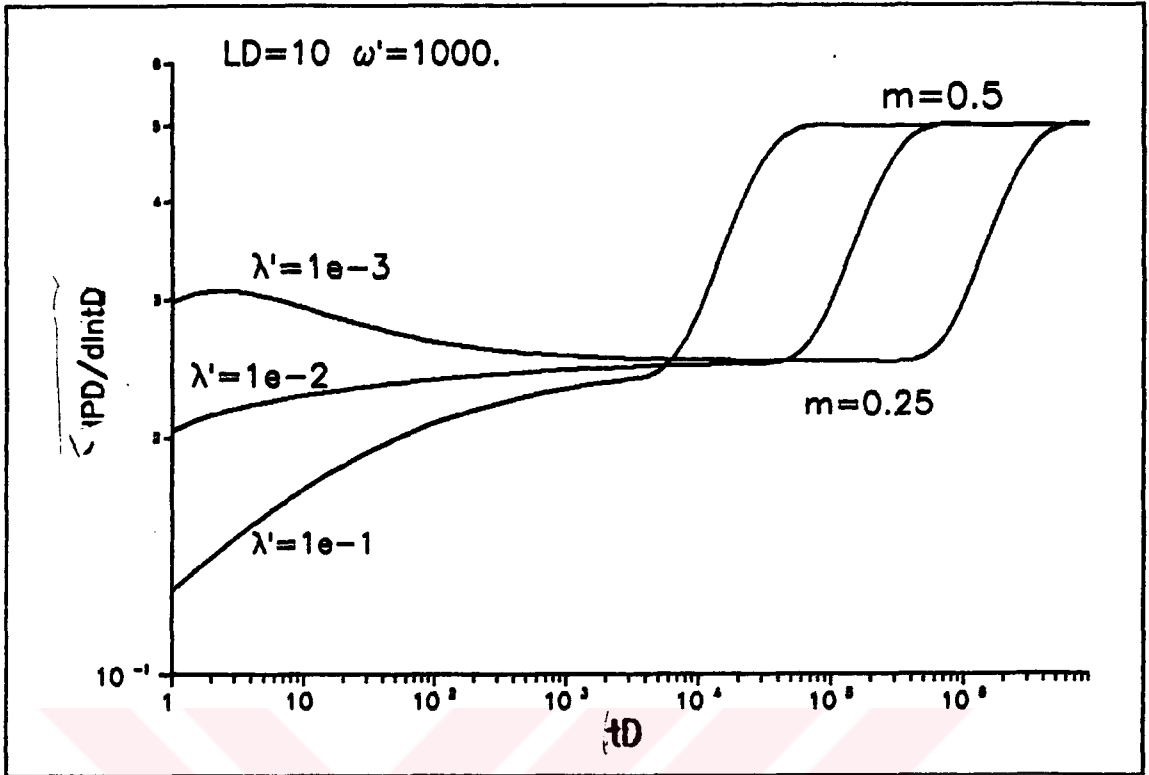


Şekil 8: $L_D = 1$ ve $\omega' = 1000$ için geç ara ve uzun dönem doğruları.

ii) Geç Ara Dönem Bu akış döneminin tipik davranışı L_D nin 10 ve 1 değerlerinde, $\omega' = 1000$ durumu için Şekil 8 ve 9 da verilen grafiklerde gösterilmiştir. Başlangıç zamanı için bir korelasyon kurulamamakla birlikte $\omega' = 1000$ için λ' dan etkilenmediği, sadece $\omega' = 100$ için λ' küçüldükçe yarılog doğrunun başlangıç zamanının büyüdüğü görülmüştür. Bitiş zamanı t_{Ds2} , için yapılan incelemede düşey kuyularda ara dönemin sona ermesi için verilen korelasyona [13] uyan aşağıdaki sonuç bulunmuştur.

$$t_{Ds2} = \frac{B \omega'}{\lambda'} \quad (4.4)$$

B sabiti ω' a bağlı olarak 0.6 ile 0.66 arasında değişmektedir λ' ın bu sabit üzerindeki etkisi ihmal edilebilecek kadar azdır.



Şekil 9: $L_D = 10$ ve $\omega' = 1000$ için geç ara ve geç dönem doğruları.

4.2.3. Üçüncü Akış Rejimi (R3)

Üçüncü akış rejiminin başlangıç zamanı (t_{Db3}) için bir ilişki araştırıldığında $\lambda' \leq 1e-2$ için düşey kuyularla [13] uyum sağlayan aşağıdaki korelasyon elde edilmiştir:

$$t_{Db3} = \frac{3.7 \omega'}{\lambda'} \quad (4.5)$$

λ' in daha büyük değerlerinde bu eşitlik geçerliliğini kaybetmiştir. Bunun sebebi çatlak içerisindeki akışkanın tamamen üretilmesi ve akışın matriks sisteminden olması sebebiyle λ' etkisinin kaybolmasıdır. Bunu doğrulamak için yapılan araştırmada λ' in 100 ve daha büyük olduğu durumlarda homojen rezervuarlarda elde edilen değere benzer bir korelasyon bulunmuştur:

$$t_{Db3} = 4.2 \omega' \quad (4.6)$$

$\omega' = 10$ için bu eşitlik

$$t_{db3} = 4.6 \omega' \quad (4.7)$$

halini almaktadır.

3. akış dönemi üzerinde L_0 nin herhangi bir etkisi gözlenmemiştir.

5. BASINÇ AZALIM ÇÖZÜMLERİ

Basınç azalım testi için akış dönemlerini belirleyen asimptotik yaklaşımları normal logaritma ve boyutlu değişkenlerle yeniden düzenleyerek elde edilen denklemler, çizilecek t_D ye karşı P_D yarı logaritmik grafiklerinin, bazı kayaç ve akışkan parametrelerinin bulunmasında yararlı olabileceğini göstermiştir. Bu tip bir araştırmada en önemli sorun akış döneminin tanımlanmasıdır. Bu konuda uygulanabilecek bir çok değişik yöntem mevcuttur. Eğri çakıştırma yöntemi veya türev eğrilerinin genel karakteristigiinden yararlanılarak akış rejimi tanımlanabilir (Gözlemler genel olarak erken ara döneme türev eğrisinin alttan, geç döneme ise üstten yaklaştığı, geç ara dönemde ise küçük ω' için üstten fakat büyük ω' , λ' değerlerinde alttan yaklaşma eğilimin de olduğunu göstermiştir.).

5.1 Erken Dönem Ve Erken Ara Dönem Çözümleri

Erken dönem için verilen Denklem 3.14'ün K için logaritmik yaklaşım kullanılarak elde edilen ters Laplace transformu Denklem 5.1'le verilmiştir.

$$P_{wD} = \frac{1}{4L_D} (\ln t_D - \ln(\frac{r_{wD}}{L_D})^2 + 0.80907) \quad (5.1)$$

normal logaritma ve boyutlu değişkenler cinsinden yeniden düzenlersek;

$$P_i - P_{wf} = m (\log t + \log \frac{k_f}{\phi_f C_f \mu r_w^2} - 2.6253) \quad (5.2)$$

burada t_D 'ye karşı P_D yarılog grafiğinin eğimi "m" Denklem 5.3'le tanımlıdır.

$$m = \frac{162.6 q B \mu}{L \sqrt{k_f k_{fz}}} \quad (5.3)$$

Erken ara dönem için bulunan Denklem 3.40' i normal logaritma ve boyutlu değişkenlerle yeniden düzenlersek;

$$P_i - P_{wf} = m (\log t + \log \frac{k_f^2 h_f^2}{\mu r_w^2 n^2 k_m \phi_m C_m L^2} - 2.5245) \quad (5.4)$$

Burada t_0 'ye karşı P_0 yarılog grafiğinin eğimi "m" Denklem 5.5'le tanımlıdır.

$$m = \frac{81.3 q B \mu}{L \sqrt{k_f k_{fs}}} \quad (5.5)$$

Denklem 5.3 veya 5.5' le verilen bu eğimlerden yararlanarak $k_i k_{f2}$ değeri bulunabilir. Eğer herhangi bir yöntemle L_0 (eğri çakıştırma vs.) belirlenebilirse k_i ve k_{f2} parametreleri bulunabilir.

Erken dönem ve erken ara dönem yarılog doğrularının kesişme noktası olan t_0 değeri Denklem 5.1 ve Denklem 3.40' i normal logaritmaya çevrilip birbirlerine eşitlenmesiyle bulunabilir;

$$t_D = \frac{1.6845}{\lambda' \omega'} \quad (5.6)$$

Bu denklemi boyutlu değişkenlerle yeniden düzenlersek;

$$t = \frac{532.2278 (\phi_f C_f h_f)^2 \mu}{n^2 k_m \phi_m C_m} \quad (5.7)$$

Bu durumda matriks geçirgenliği, porozitesi ve sıkıştırılabilirlik katsayısının bilindiği varsayılırsa, Denklem 5.6' kullanılarak $\phi_f C_f h_f$ değeri bulunabilir. ($n=h/h_e$ varsayılarak)

5.2. Geç Ara Ve Geç Dönem Çözümleri

Geç ara dönem için verilen Denklem 3.47 adi logaritma ve boyutlu değişkenler kullanılarak yeniden düzenlenirse;

$$(P_i - P_{wf}) = m (\log t + \log \frac{(k_f h_f)^2}{n^2 \phi_m C_m k_m L^4 \mu} + 1.177) \quad (5.8)$$

Burada t_D 'ye karşı P_D yarılog grafiğinin eğimi "m" Denklem 5.9'la tanımlıdır.

$$m = \frac{81.27 qB\mu}{k_f h_f} \quad (5.9)$$

Geç dönem için Denklem 3.25' le verilen ifade logaritma ve boyutlu değişkenler kullanarak yeniden düzenlenirse

$$\log \frac{P_i - P_{wf}}{\mu L^2 \left(\phi_f C_f + \frac{\phi_m C_m h_M}{h_f} \right)} = m (\log t + 1.1547) \quad (5.10)$$

Burada eğim "m"

$$m = \frac{162.5 qB\mu}{k_f h_f} \quad (5.11)$$

şeklindedir. Denklem 5.9 veya 5.11 kullanılarak $k_f h_f$ değeri bulunabilir. Yine geç ara dönem ve geç dönem doğrularının kesişme noktası kullanılarak bazı matriks parametreleri için bazı yaklaşımlar sağlanabilir. Bu amaçla Denklem 3.25 ve 3.47 adi logaritmaya çevrilip eşitlenirse Denklem 5.12 elde edilir.

$$t_D = \frac{1.6845 \omega'}{\lambda'} \quad (5.12)$$

$$1 + \omega' \approx \omega'$$

Boyutlu değişkenlerle yeniden düzenleyerek sonuç olarak;

$$t = \frac{532.22778 \phi_m C_m h_m^2 \mu}{k_m} \quad (5.13)$$

elde edilir.

SONUÇLAR

Yatay kuyuların çatlaklı rezervuarlardaki basınç davranışının incelendiği bu çalışmada elde edilen başlıca sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

1. Doğal çatlaklı rezervuardaki yatay bir kuyu, homojen rezervuardaki yatay kuyular için literatürde verilen erken (düşey düzlemde çevrel akış) ve geç (yatay düzlemde yalancı çevrel akış) dönemler olarak verilen akış rejimlerine ilave olarak ara dönemde erken ara ve geç ara olarak adlandırılan iki akış dönemi göstermiştir.

2) Erken dönem olarak tanımlanan birinci akış rejiminde akış düşey düzlemde çevrel olarak ve tamamen çatlak sisteminden olmaktadır. Bu akış dönemi P_b -ln t_b grafiğinde eğimi $1/4L_b$ olan bir doğruyla karakterize edilir. Matriksten çatlaga akışın başladığı ara dönemde (ikinci akış rejimi) ise eğer rezervuarda düşey düzlemde çevrel akış varsa bu dönem erken ara dönem olarak adlandırılır ve P_b -ln t_b grafiğinde eğimi $1/8L_b$ olan bir doğruyla karakterize edilir. Eğer bu dönemde rezervuarda düşey düzlemde yalancı çevrel akış varsa bu akış dönemi geç ara dönem olarak adlandırılır ve P_b -ln t_b grafiği eğimi $1/4$ olan bir doğru verir. Çatlak sisteminde depolanan akışkanın tümü üretilip, akışın matriks sisteminden ve yalancı çevrel akış olarak meydana geldiği geç dönemde (üçüncü akış rejimi) ise aynı grafik eğimi $1/2$ olan bir doğru verecektir.

3. Birinci akış rejimi düşey düzlemde çevrel akışın sona ermesiyle yada matriks sisteminden çatlak sistemine akışın başlamasıyla sona erer. Bu çalışmanın sonuçlarına göre $L_b \geq 5$, $\lambda' \omega' < L_b^2$ ve $L_b \leq 1.25$, $\lambda' \omega' \leq 0.1$ olması halinde birinci akış rejimi düşey düzlemde çevrel akışın son bulması nedeniyle biter. Bu durumda boyutsuz sona erme zamanı homojen rezervuarlarla aynıdır. Birinci akış rejimi $L_b \geq 5$, $\lambda' \omega' < L_b^2$ ve $L_b \leq 1.25$, $\lambda' \omega' > 10$ için matriks sisteminden çatlak sistemine akışın başlaması nedeniyle sona erer.

4) İkinci akış rejimi matriks sisteminden çatlak sistemine akışın başladığı ara dönemi temsil eder. Eğer bu dönemde rezervuarda düşey düzlemde çevrel akış varsa bu dönem erken ara dönem olarak adlandırılır. Bu dönemde P_b-t_b yarılog grafiği eğimi $0.125/L_b$ olan bir doğru verir. Eğer matriksden çatlığa akışın başladığı dönemde rezervuarda yalnız çevrel akış oluşursa bu akış dönemi geç ara dönem olarak adlandırılır. Geç ara dönemde P_b-t_b yarılog grafiği eğimi 0.25 olan bir doğru verir. Erken ara dönemin boyutsuz başlangıç zamanı ile geç ara dönemin boyutsuz bitiş zamanları düşey kuyularla aynıdır.

5) Düşey düzlemde yalnız çevrel akışın olduğu geç dönemde ise akışın tamamen matriks sisteminden olması sebebiyle λ' in etkisi kaybolmuş, özellikle $\lambda' > 1 \times 10^{-2}$ için homojen rezervuarlarla aynı boyutsuz zamanda geç dönem başlamaktadır. Daha küçük λ' değerlerinde ise bu dönem düşey kuyularla aynı zamanda başlamaktadır.

SİMGELER

β	= Denklem (3.5) ile tanımlı
c_t	= Sıkıştırılabilirlik
$Ei(x)$	= Exponansiyel integral
$Erf(x)$	= Hata fonksiyonu
F	= Yatay kuyu yalancı zar faktörü
h	= Üretken zon kalınlığı
K_0	= Değiştirilmiş Bessel fonksiyonu (0.derece)
k	= Geçirgenlik, md
L	= Yatay kuyu uzunluğu, ft
P	= Basınç, psia
q	= Üretim debisi, RB
r	= Yarı çap, ft
s	= Laplace sabiti
t	= zaman, saat
x	= x doğrultusundaki konum, ft
y	= y doğrultusundaki konum, ft
z	= z doğrultusundaki konum, ft
γ	= Euler sabiti, 0.557722....
ϕ	= Gözeneklilik, oran
λ	= Boyutsuz çatlak transfer katsayısı
λ'	= Denklem (1.11) ile tanımlı
μ	= Akmaçlık, cp
ω	= Boyutsuz matriks depolama sabiti
ω'	= Denklem (1.11) ile tanımlı
π	= Pi sayısı, 3.14159....
σ	= Düşey çatlatılmış kuyu yalancı zar faktörü

Alt indisler

D	= Boyutsuz
f	= çatlak
i	= İlk
m	= Matriks
w	= Kuyu
wf	= Kuyuya akış
z	= Düşey

KAYNAKLAR

- [1] CLONTS, M.D. and RAMEY, H.J., Jr., "Pressure Transient Analysis for Wells With Horizontal Drainholes", SPE 15116, SPE California Bölgesel Toplantısında Sunuldu, Oakland, CA, (2-4 Nisan 1986).
- [2] ÖZKAN, E., RAGHAVAN, R. ve JOSHI, S.D., "Horizontal Well Pressure Analysis", SPEFE (Aralık 1989), 567-575.
- [3] BARU, D.K. ve ODEH, A.S., "Productivity of a Horizontal Well", SPE 18298, SPE Yıllık Teknik Konferansında sunuldu, Houston TX, (2-5 Ekim 1988).
- [4] Daviau, F., Mouronval, G., Bourdarot, G. and Curutchet, P.: "Pressure Analtsis for Horizontal Wells," SPE 14251, 60. Yıllık Teknik Konferans ve sergisinde sunuldu, Las Vegas, 22-25, Eylül, 1985
- [5] Goode, P.A. Thambynayagam, R.K.M.: "Pressure Drawdown and Buildup Analysis of Horizontal Wells in Anisotropic Media," SPE 14250 60. Yıllık Teknik Konferans ve sergisinde sunuldu, Las Vegas, 22-25, Eylül, 1985
- [6] Rosa, A.J. and Carvalho, R.S.: "A Mathematical Model for Pressure Evaluation in an infinite Conductivity Horizontal Well", SPE 15967, 1987
- [7] Aguilera, R., MICHAEL C.Ng, "Transient Pressure Analysis of Horizontal Wells in Anisotropic Naturally Fractured Reservoirs", SPEFE (Mart 1991) 95-100.
- [8] CARVALHO, R. de S., ROSA A.J., "Transient Pressure Behavior for Horizontal Wells in Naturally Fractured Reservoir", SPE 18302, SPE Yıllık Teknik Konferansında sunuldu, Houston TX, (2-5 Ekim 1988).
- [9] WARREN, J.E. and ROOT P.J., "The Behavior of Naturally Fractured Reservoirs", SPEJ (Eylül 1963) 245-255, Trans. AIME 228.

- [10] KAZEMI, H. "Pressure Transient Analysis of Naturally Fractured Reservoir", SPEJ (Mar 1965) 60-64
Trans AIME , 246.
- [11] de SWAAN-O., A. "Analytical Solution for Determining Naturally Fractured Reservoir Properties by Well Testing", SPEJ, (Haziran 1976) 117-122,
Trans AIME 261.
- [12] NAJURIFTA, H.I. "A Theory for Pressure Transient Analysis in Naturally Fractured Reservoir ".
IPT (Haziran 1980) 1241-1250.
- [13] SERRA, E , REYNOLDS, A.C., RAGHAVAN, R. "New Pressure Transient Analysis Methods for Naturally Fractured Reservoirs." IPT (Aralık 1983) 2271-2283 Trans AIME, 275
- [14] REYNOLDS, A.C., CHANG, W.L., Yeh, N., RAGHAVAN R., "Wellbore Pressure Response in Naturally Fractured Reservoirs," IPT (Mayıs 1985) 908-920
- [15] ÖZKAN, F., ve RAGHAVAN R., "Some New Solutions to Solve Problem. in Well Test Analysis: Part 2 Computational Considerations And Application " SPE (Eylül 1991) 369-376
- [16] STEHTEST, H. "Numerical Inversion of Laplace Transform ." Communication of the ACM (Haziran 1970) 17. No 4, 47-49

EK-A ÇÖZÜMLERİN ELDE EDİLMESİNDE KULLANILAN BİLGİSAYAR
PROGRAMI



```

C
C      FILE HWLAP1.FTN   04/22/1988
C
C      PROGRAM COMPUTES THE DIMENSIONLESS
C      PRESSURE DROP DUE TO PRODUCTION
C      FROM A HORIZONTAL WELL IN A NATURALLY
C      FRACTURED RESERVOIR.
C      SOLUTION IS OBTAINED BY NUMERICALLY
C      INVERTING THE LAPLACE SPACE SOLUTON.
C-----
      IMPLICIT DOUBLE PRECISION(A-H,O-Z)
      DIMENSION TP(30),TI(14),V(50),G(50),H(25)
      DIMENSION FA1(8),FB1(8)
      REAL LD,LAMBDA
      EXTERNAL P
      COMMON/DATA1/XD,ZD,ZWD,LD,LAMBDA,MPAR
      COMMON/DATA2/TOL,TDW,W
      DATA TI/1.0,1.5,2.0,2.5,3.0,3.5,4.0,4.5
      *,5.0,6.0,7.0,8.0,9.0,10.0/
      READ(5,*) XD,RWD,ZWD,W,LAMBDA,MPAR
      ZD=ZWD+RWD
      READ(5,*) ILC,NCT,TOL
      READ(5,*) N
      999 READ(5,*,END=9999) ID
      WRITE(8,1000)
      1000  FORMAT(/////,17X,'HORIZONTAL WELL DIMENSIONLESS
PRESSURE')
      WRITE(8,1009) XD,RWD,ZD,ZWD,LD,W,LAMBDA
      1 0 0 9      F O R M A T ( / , 2 7 X , ' X D
=' ,1PE12.4,/,27X,'RWD=',1PE12.4,/,27X,'ZD =',
& 1PE12.4,/,27X,'ZWD=',1PE12.4,/,27X,'LD =',1PE12.4,
& /,27X,'W =' ,1PE12.4,/,27X,'LAM=',1PE12.4)
      WRITE(8,1001)
      1001 FORMAT(/,7X,'TD',9X,'PWD',8X,'DPWD/DT',4X,
& 'DPWD/DLNT',2X,'NORMPRES')
      IND=14
      DO 1 I=1,IND
      TP(I)=TI(I)*10.D0**ILC
C      TP(I)=TP(I)*W
      1 CONTINUE
      M=0
      IIC=0
      NCC=0
      100 IIC=IIC+1
      TD=TP(IIC)*10.D0**NCC
      TDW=TD/W
C      ARG=((RWD/LD)**2)*W/4.D0/TD
C      PDS=EI(ARG)/4.D0/LD
      CALL LINV(P,TD,FA,FB,N,M,V,G,H)
      M=N
      PD=FA
      DPD=FB
      DLNPD=TD*DPD
      PNORM=PD/2.D0/DLNPD
C      TD=TD/W
      WRITE(8,1002) TD,PD,DPD,DLNPD,PNORM

```

```

      WRITE(9,*) TD,PD,DLNPD
1002  FORMAT(3X,1PE10.3,4(1PE12.4))
      IF(IIC.EQ.IND) THEN
        IIC=1
        NCC=NCC+1
      ENDIF
      IF(NCC.NE.NCT) GO TO 100
      GO TO 999
9999  STOP
      END

C
C-----
      FUNCTION P(S)
C
      IMPLICIT DOUBLE PRECISION(A-H,O-Z)
      REAL LD,LAMBDA
      COMMON/DATA1/XD,ZD,ZWD,LD,LAMBDA,MPAR
      COMMON/DATA2/TOL,TDW,W
      PI=4.D0*DATAN(1.D0)
      IF(W.EQ.1. OR . LAMBDA.EQ.0.) THEN
        FS=1.D0
      ELSE
        IF(MPAR.EQ.1.) THEN
          FS=DSQRT(W*LAMBDA/3.D0/S)*DTANH(DSQRT(3.D0*W*S/LAMBDA))+1.D
0
        ELSE
          FST=W*(1.D0-W)*S+LAMBDA
          FSB=(1.D0-W)*S+LAMBDA
          FS=FST/FSB
        ENDIF
      ENDIF
      U=S*FS
C
C
C      COMPUTE LAPLACE TRANSFORM OF FRACTURE SOLUTION
C
      ARG1=DSQRT(U)*(1.D0-XD)
      ARG2=DSQRT(U)*(1.D0+XD)
      PF=(0.5D0/S/DSQRT(U))*(BINTK0(ARG1)+BINTK0(ARG2))
C
C
C      COMPUTE LAPLACE TRANSFORM OF PSEUDOSKIN FUNCTION
C
      IF(TDW.GE.1.D+02) THEN
        SUM=0.D0
        SUMC1=-100.
        DO 10 I=1,120000
          DI=DBLE(I)
          CN=DI*PI*LD
          CN=DSQRT(U+CN*CN)
          CC=DCOS(DI*PI*ZD)*DCOS(DI*PI*ZWD)
          ARG1=CN*(1.D0-XD)
          ARG2=CN*(1.D0+XD)
          BT=BINTK0(ARG1)+BINTK0(ARG2)
          BT=CC*BT/CN
          SUM=SUM+BT
          CHECK=I/8.0

```

```

        TRNK=INT(I/8.0)
        IF(CHECK.NE.TRNK) GO TO 15
        DELTA=DABS(SUMC1-SUM)/SUM
        DELTA=DELTA*100.D0
        IF(DELTA.LT.TOL) GO TO 20
        SUMC1=SUM
15      CONTINUE
10      CONTINUE
20      F=SUM/S
        ELSE
        F1=0.5D0*PI/S/DSQRT(U)
        ARG1=(ZD-ZWD)*DSQRT(U)/LD
        ARG1=DABS(ARG1)
        F2=(0.5D0/LD/S)*BK(ARG1)
        ARG2=(ZD+ZWD)*DSQRT(U)/LD
        ARG2=DABS(ARG2)
        F3=(0.5D0/LD/S)*BK(ARG2)
        SUM=0.D0
        SUMC1=-100.
        DO 50 I=1,120000
            DI=DBLE(I)
            ARG1=(ZD-ZWD+2.D0*DI)*DSQRT(U)/LD
            ARG2=(ZD+ZWD+2.D0*DI)*DSQRT(U)/LD
            ARG1=DABS(ARG1)
            ARG2=DABS(ARG2)
            SUM=SUM+BK(ARG1)+BK(ARG2)
            CHECK=DABS(SUM-SUMC1)
            IF(CHECK.LT.1.D-07) GO TO 60
            SUMC1=SUM
50      CONTINUE
60      F4=(0.5D0/LD/S)*SUM
        SUM=0.D0
        SUMC1=-100.
        DO 70 I=1,120000
            DI=DBLE(I)
            ARG1=(ZD-ZWD-2.D0*DI)*DSQRT(U)/LD
            ARG2=(ZD+ZWD-2.D0*DI)*DSQRT(U)/LD
            ARG1=DABS(ARG1)
            ARG2=DABS(ARG2)
            SUM=SUM+BK(ARG1)+BK(ARG2)
            CHECK=DABS(SUM-SUMC1)
            IF(CHECK.LT.1.D-07) GO TO 80
            SUMC1=SUM
70      CONTINUE
80      F5=(0.5D0/LD/S)*SUM
        SUM=0.D0
        SUMC1=-100.
        DO 90 I=1,120000
            DI=DBLE(I)
            CN=DI*PI*LD
            CN=DSQRT(U+CN*CN)
            CC=DCOS(DI*PI*ZD)*DCOS(DI*PI*ZWD)
            ARG1=CN*(1.D0-XD)
            ARG2=CN*(1.D0+XD)
            BT1=0.5*PI-BINTK0(ARG1)
            BT2=0.5*PI-BINTK0(ARG2)

```



```

      BT=(CC/CN)*(BT1+BT2)
      SUM=SUM+BT
      CHECK=I/8.0
      TRNK=INT(I/8.0)
      IF(CHECK.NE.TRNK) GO TO 100
      DELTA=DABS(SUMC1-SUM)
      IF(DELTA.IT.1.D-07) GO TO 110
      SUMC1=SUM
100   CONTINUE
90   CONTINUE
110  F6=SUM/S
      F=-F1+F2+F3+F4+F5-F6
      ENDIF
      P=PF+F
      RETURN
      END

```

C
C
C-----
C
C
C
C
C
C
C
C-----

FILE BINTK0

ROUTINE CALCULATES THE INTEGRAL
OF BESSEL FUNCTION K0 FROM 0 TO
X BY USING THE INFINITE SERIES
FORM GIVEN BY ABRAMOWITZ AND
STEGUN (P. 480, EQ. 11.1.9)

```

FUNCTION BINTK0(X)
  IMPLICIT DOUBLE PRECISION(A-H,O-Z)
  DATA GAMMA/0.5772156649D0/
  DATA TOL1/1.D-7/
  PI=4.D0*DATAN(1.D0)
  PIO2=PI/2.D0
  IF(X.GT.14.) THEN
    SUMK=PIO2
    GO TO 50
  ENDIF
  XO2=X/2.D0
  CON=DLOG(XO2)+GAMMA
  SUMK=-X*(CON-1.D0)
  SUMO=SUMK
  DO 10 K=1,90000
    DK=DBLE(K)
    FK=FACTRL(K)
    DK1=2.D0*DK+1.D0
    KPOV=2*K
    TOP=XO2**KPOV
    BOT=FK*FK*DK1
    TCOM=TOP/BOT
    T1=-CON*TCOM
    T2=TCOM/DK1
    SUMI=0.D0
  DO 11 I=1,K
    DI=DBLE(I)
    RI=1.D0/DI
    SUMI=SUMI+RI

```

```

11  CONTINUE
    T3=SUM1*TCOM
    SUMN=X*(T1+T2+T3)
    SUMK=SUMK+SUMN
    DIF=DABS(SUMN-SUMO)
    IF(DIF.LE.TOL1) GO TO 50
    SUMO=SUMN
10  CONTINUE
50  BINTK0=SUMK
    RETURN
    END

```

C

C-----

```

      FUNCTION GAMMLN(XX)
      IMPLICIT DOUBLE PRECISION(A-H,O-Z)
      DIMENSION COF(6)

```

```

                                D      A      T      A
COF,STP/76.18009173D0,-86.50532033D0,24.01409822D0,
                                &
-1.231739516D0,.120858003D-2,-.536382D-5,2.50662827465D0/
DATA HALF,ONE,FPF/0.5D0,1.0D0,5.5D0/
X=XX-ONE
TMP=X+FPF
TMP=(X+HALF)*LOG(TMP)-TMP
SER=ONE
DO 11 J=1,6
    X=X+ONE
    SER=SER+COF(J)/X
11 CONTINUE
GAMMLN=TMP+DILOG(STP*SER)
RETURN
END

```

C

C

C

C-----

```

      FUNCTION FACTRL(N)

```

C-----

```

      IMPLICIT DOUBLE PRECISION(A-H,O-Z)
      DIMENSION A(33)
      DATA NTOP,A(1)/0,1.D0/
      IF(N.LT.0) THEN
        PAUSE 'NEGATIVE FACTORIAL'
      ELSEIF(N.LE.NTOP) THEN
        FACTRL=A(N+1)
      ELSEIF(N.LE.32) THEN
        DO 11 J=NTOP+1,N
          A(J+1)=J*A(J)
11  CONTINUE
        NTOP=N
        FACTRL=A(N+1)
      ELSE
        FACTRL=DEXP(GAMMLN(N+1.D0))
      ENDIF
      RETURN
      END

```

C
C

```

SUBROUTINE LINV(P,T,FA,FB,N,M,V,G,H)
IMPLICIT DOUBLE PRECISION(A-H,O-Z)
DIMENSION G(50),V(50),H(25)
DLOGTW=.6931471805599453
IF(M.EQ.N) GO TO 100
G(1)=1.D0
NH=N/2
DO 5 I=2,N
    G(I)=G(I-1)*I
5 CONTINUE
H(1)=2.D0/G(NH-1)
DO 10 I=2,NH
    FI=I
    IF(I.EQ.NH) GO TO 8
    H(I)=FI**NH*G(2*I)/(G(NH-I)*G(I)*G(I-1))
    GO TO 10
8    H(I)=FI**NH*G(2*I)/(G(I)*G(I-1))
10 CONTINUE
SN=2*(NH-NH/2*2)-1
DO 50 I=1,N
    V(I)=0.D0
    K1=(I+1)/2
    K2=I
    IF(K2.GT.NH) K2=NH
    DO 40 K=K1,K2
        IF(2*K-I.EQ.0) GO TO 37
        IF(I.EQ.K) GO TO 38
        V(I)=V(I)+H(K)/(G(I-K)*G(2*K-I))
        GO TO 40
37    V(I)=V(I)+H(K)/G(I-K)
        GO TO 40
38    V(I)=V(I)+H(K)/G(2*K-I)
40    CONTINUE
    V(I)=SN*V(I)
    SN=-SN
50 CONTINUE
100 FA=0.D0
    FB=0.D0
    A=DLOGTW/T
    DO 110 I=1,N
        ARG=A*I
        PA=P(ARG)
        PB=PA*ARG
        FA=FA+V(I)*PA
        FB=FB+V(I)*PB
110 CONTINUE
    FA=A*FA
    FB=A*FB
    IF(DABS(FA).LE.1.E-38) FA=0.D0
    IF(DABS(FB).LE.1.E-38) FB=0.D0
    RETURN
END

```

C
C

```

SUBROUTINE PSM(F1,PS)
IMPLICIT DOUBLE PRECISION(A-H,O-Z)
DIMENSION F1(8),DI(8)
DO 1 J=1,6
    DI(J)=DABS(F1(J)-F1(J+1))
1 CONTINUE
AMIN=DI(1)
NX=2
DO 2 IX=1,5
    IF(AMIN.GT.DI(IX+1)) THEN
        AMIN=DI(IX+1)
        NX=IX+2
    ENDIF
2 CONTINUE
PS=F1(NX)
RETURN
END

```

C

```

FUNCTION EI(Z)
IMPLICIT DOUBLE PRECISION(A-H,O-Z)
A1=8.5733287401
A2=18.059016973
A3=8.634708925
A4=0.2677737
B1=9.5733223454
B2=25.6329611486
B3=21.0996530827
B4=3.9584
CO=-0.57721566
C1=0.99999193
C2=-0.24991055
C3=0.05519968
C4=-0.00976004
C5=0.00107857
IF(Z.LE.1)THEN
RHS=CO+C1*Z+C2*Z**2.D0+C3*Z**3.D0+C4*Z**4.D0+C5*Z**5.D0
EI=RHS-DLOG(Z)
ELSE
UP=Z**4.D0+A1*Z**3.D0+A2*Z**2.D0+A3*Z+A4
DOWN=Z**4.D0+B1*Z**3.D0+B2*Z**2.D0+B3*Z+B4
HS=UP/DOWN
IF(Z.GT.400) THEN
DEP=0.D0
GO TO 10
ENDIF
G=Z/80
DEP=1.D0
DO 1 I=1,80
DEP=DEXP(-G)*DEP
1 CONTINUE
10 EI=(HS/Z)*DEP
ENDIF
RETURN
END

```

C

C-----

FUNCTION BK(X)

```

C-----
IMPLICIT DOUBLE PRECISION(A-H,O-Z)
I=1
K=0
IF(X.LT.0.D0) THEN
  PRINT*, 'ERROR IN BESK1 : ARGUMENT LESS THAN 0'
RETURN
ENDIF
IF(X.LT.2.) THEN
  A=X/2.
  A2=A*A
  IF(K.EQ.0) THEN
    GK=((7.4D-6*A2+1.075D-4)*A2+2.62698D-3)*A2
    GK=((GK+3.48859D-2)*A2+2.3069756D-1)*A2+4.227842D-1
    GK=GK*A2-5.7721566D-1
    GI=BESI1(X,0,1)
    GK=-DLOG(A)*GI+GK
    IF(I.EQ.2) GO TO 55
  ELSE
    GK=(-4.686D-5*A2-1.10404D-3)*A2-1.919402D-2
    GK=(GK*A2-1.8156897D-1)*A2-6.7278579D-1
    GK=(GK*A2+1.5443144D-1)*A2+1.D0
    GI=BESI1(X,1,1)
    GK=X*DLOG(A)*GI+GK
    IF(I.EQ.2) GO TO 55
    GK=GK/X
  ENDIF
ELSE
  A=2./X
  IF(K.EQ.0) THEN
    GK=(5.3208D-4*A-2.5154D-3)*A+5.87872D-3
    GK=(GK*A-1.062446D-2)*A+2.189568D-2
    GK=(GK*A-7.832358D-2)*A+1.25331414D0
    IF(I.EQ.2) GO TO 55
    GK=GK/DSQRT(X)
  ELSE
    GK=(-6.8245D-4*A+3.25614D-3)*A-7.80353D-3
    GK=(GK*A+1.504268D-2)*A-3.65562D-2
    GK=(GK*A+2.3498619D-1)*A+1.25331414D0
    IF(I.EQ.2) GO TO 55
    GK=GK/DSQRT(X)
  ENDIF
  XC=ABS(X/8.D1)
  IC=INT(XC)+1
  X1=DEXP(X/IC)
  DO 44 II=1,IC
44  GK=GK/X1
  ENDIF
55 IF(GK.LT.1.E-38) GK=0.
  BK=GK
  RETURN
END

```

C
C
C

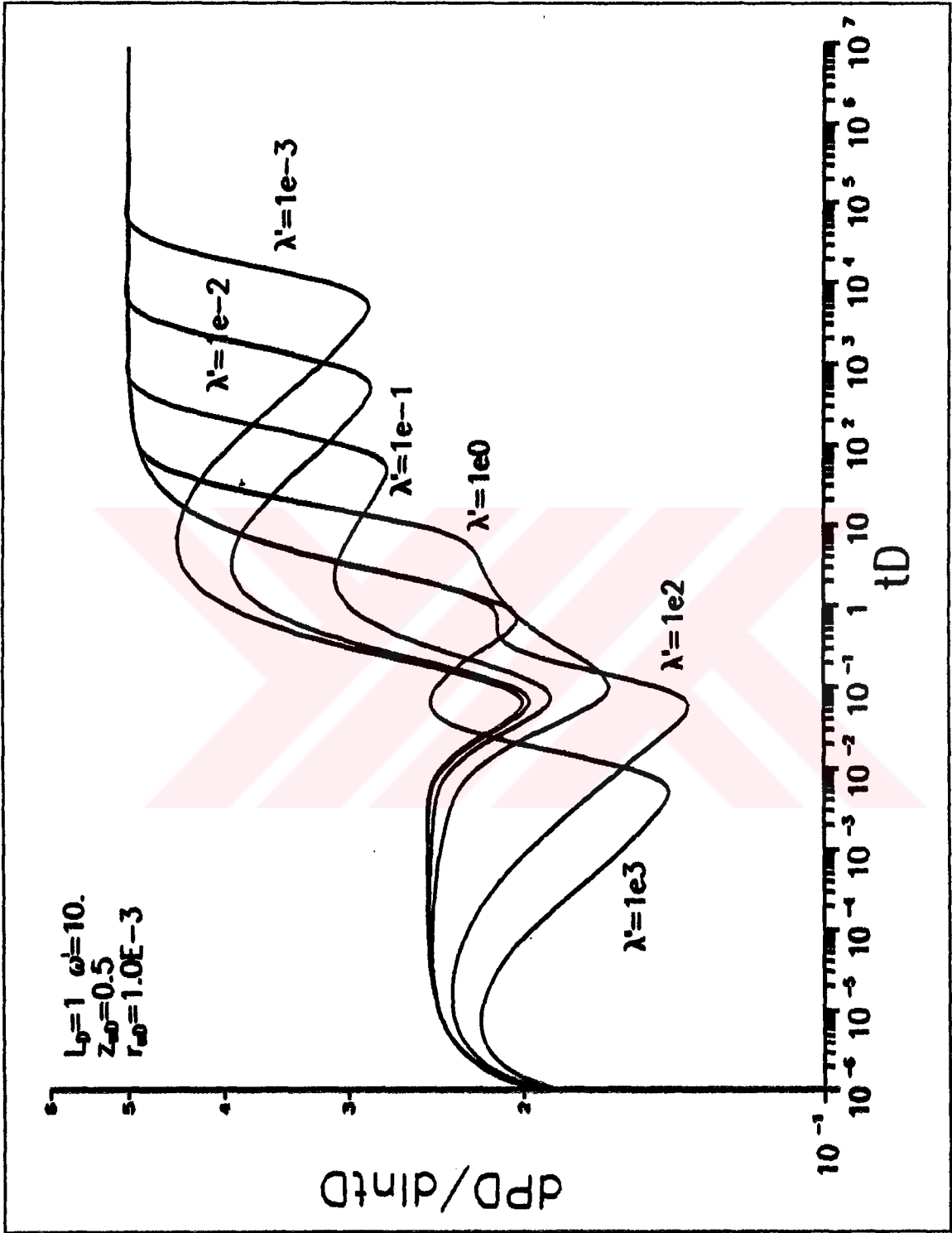
```

C-----
FUNCTION BESI1(X,K,I)
C-----
  IMPLICIT DOUBLE PRECISION(A-H,O-Z)
  IF(X.LT.-3.75) THEN
    PRINT*, 'ERROR IN BESI : ARGUMENT LESS THAN -3.75'
    RETURN
  ENDIF
  IF(X.LT.3.75) THEN
    A=X/3.75
    A2=A*A
    IF(K.EQ.0) THEN
      GI=(4.5813D-3*A2+3.60768D-2)*A2+2.659732D-1
      GI=(GI*A2+1.2067492D0)*A2+3.0899424D0
      GI=(GI*A2+3.5156229D0)*A2+1.D0
      IF(I.EQ.2) GO TO 55
    ELSE
      GI=(3.2411D-4*A2+3.01532D-3)*A2+2.658733D-2
      GI=(GI*A2+1.5084934D-1)*A2+5.1498869D-1
      GI=(GI*A2+8.7890594D-1)*A2+0.5
      IF(I.EQ.2) GO TO 55
      GI=GI*X
    ENDIF
  ELSE
    A=3.75/X
    IF(K.EQ.0) THEN
      GI=(3.92377D-3*A-1.647633D-2)*A+2.635537D-2
      GI=((GI*A-2.057706D-2)*A+9.16281D-3)*A-1.57565D-3
      GI=((GI*A+2.25319D-3)*A+1.328592D-2)*A+3.9894228D-1
      IF(I.EQ.2) GO TO 55
    ELSE
      GI=(-4.20059D-3*A+1.787654D-2)*A-2.895312D-2
      GI=((GI*A+2.282967D-2)*A-1.031555D-2)*A+1.163801D-3
      GI=((GI*A-3.62018D-3)*A-3.988024D-2)*A+3.9894228D-1
      IF(I.EQ.2) GO TO 55
    ENDIF
    GI=GI/DSQRT(X)
    XC=ABS(X/80.)
    IC=INT(XC)+1
    X1=DEXP(X/IC)
    DO 44 II=1,IC
      GI=GI*X1
    IF(GI.GT.7.2D75) THEN
      GI=7.2D75
      GO TO 55
    ENDIF
  44 CONTINUE
  ENDIF
  55 IF(GI.LT.1.E-38) GI=0
    BESI1=GI
    RETURN
  END

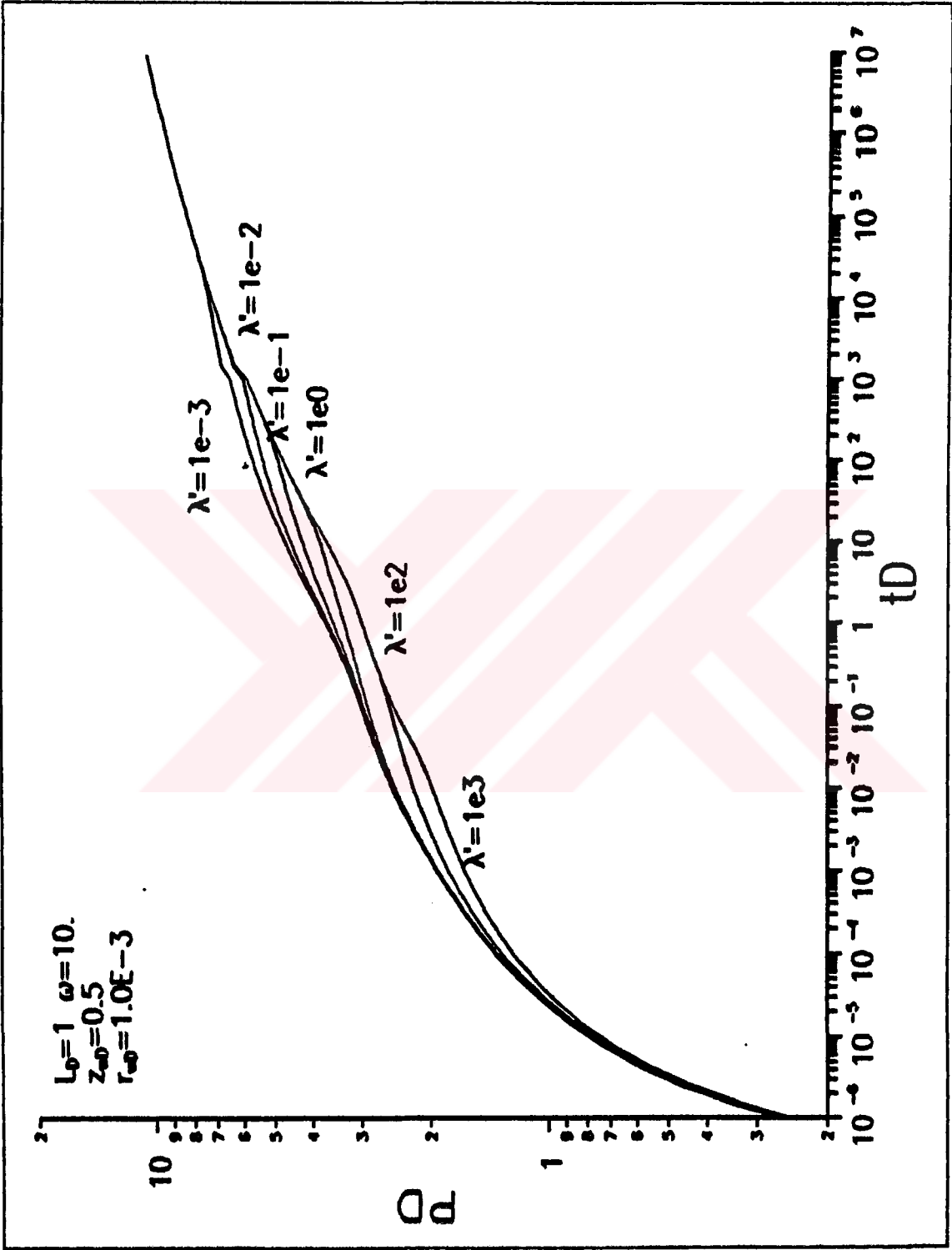
```

EK-B BASINÇ VE TÜREV GRAFİKLERİ

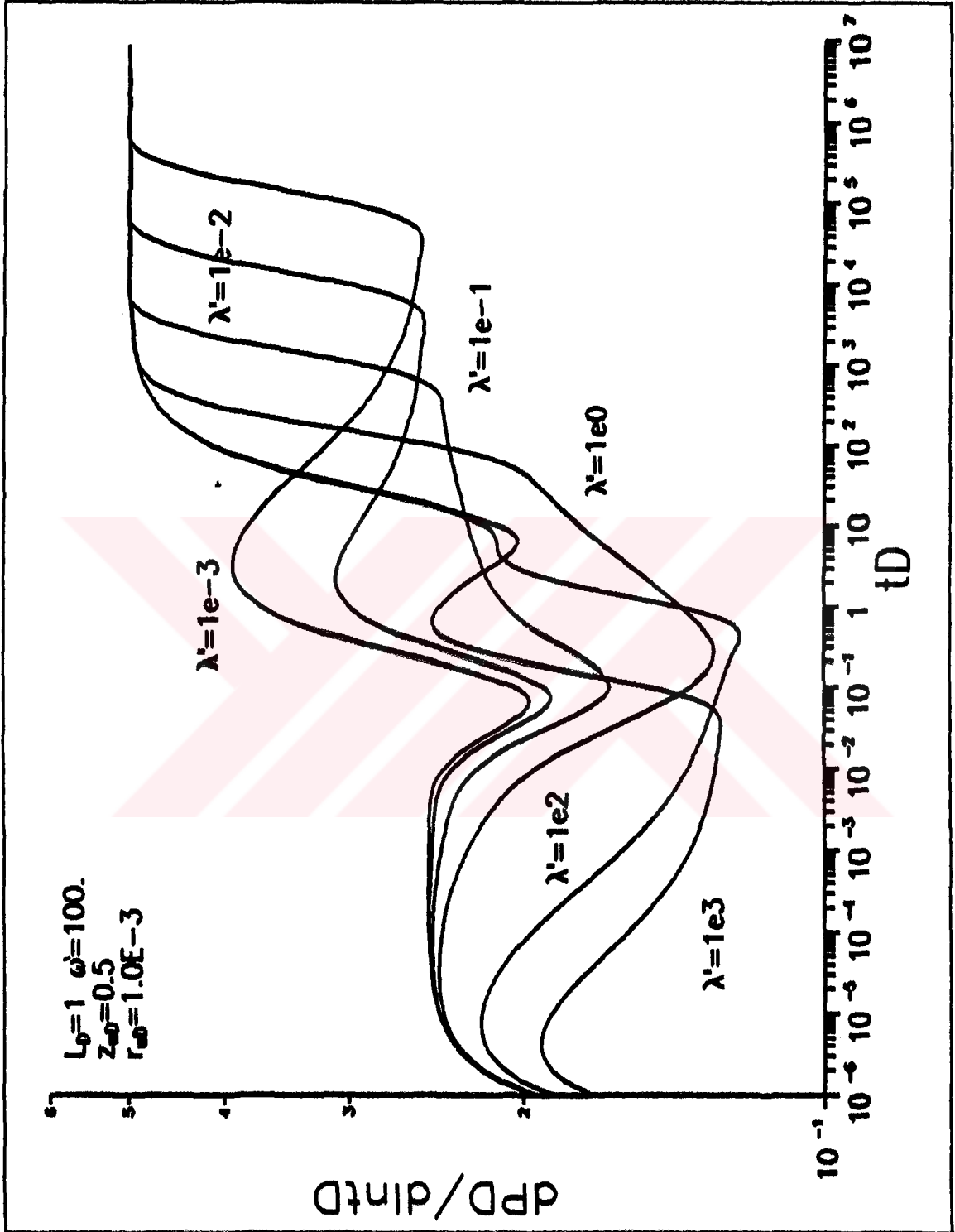




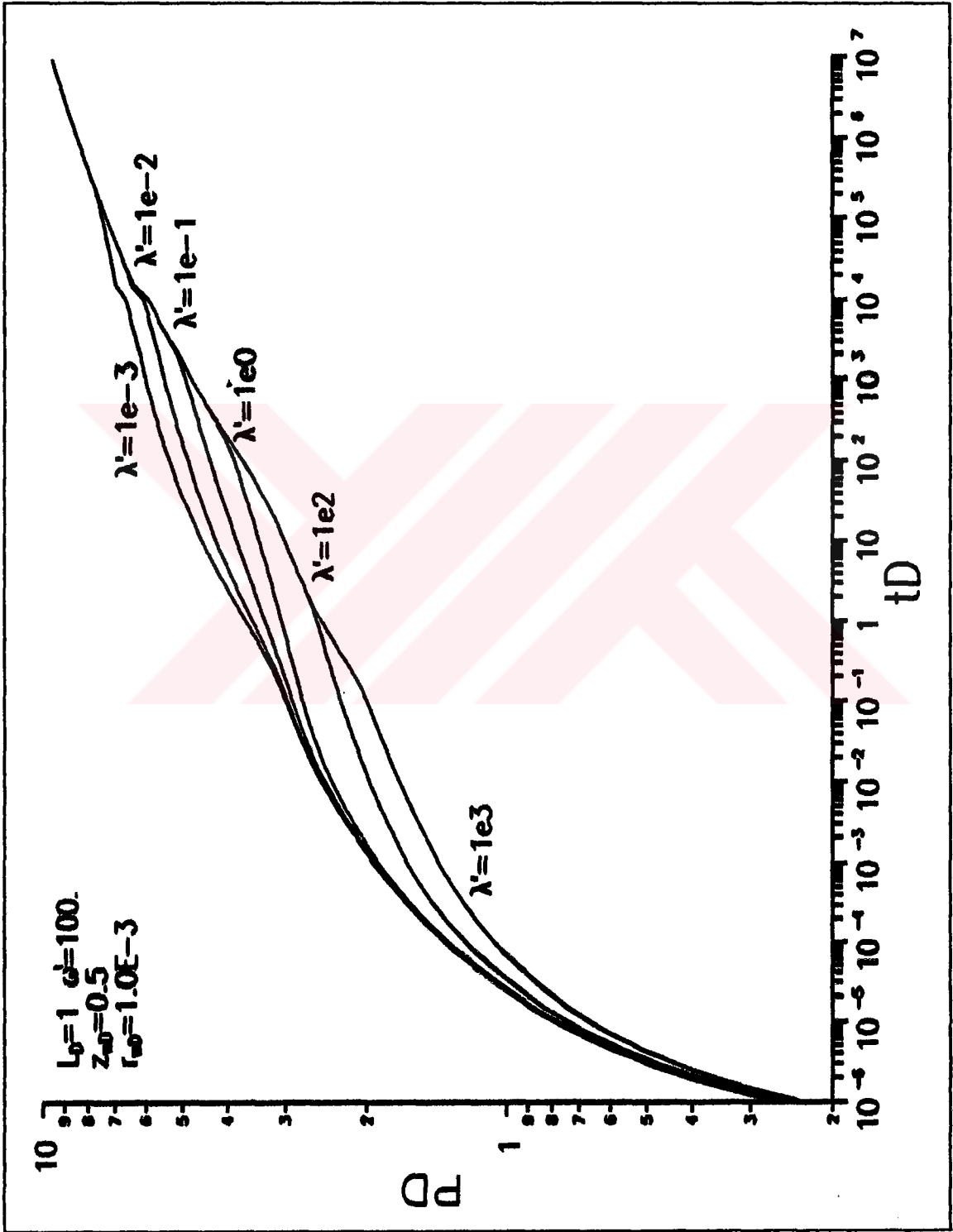
Şekil 1: $L_1=1$ ve $\omega'=10$ için türev grafiği



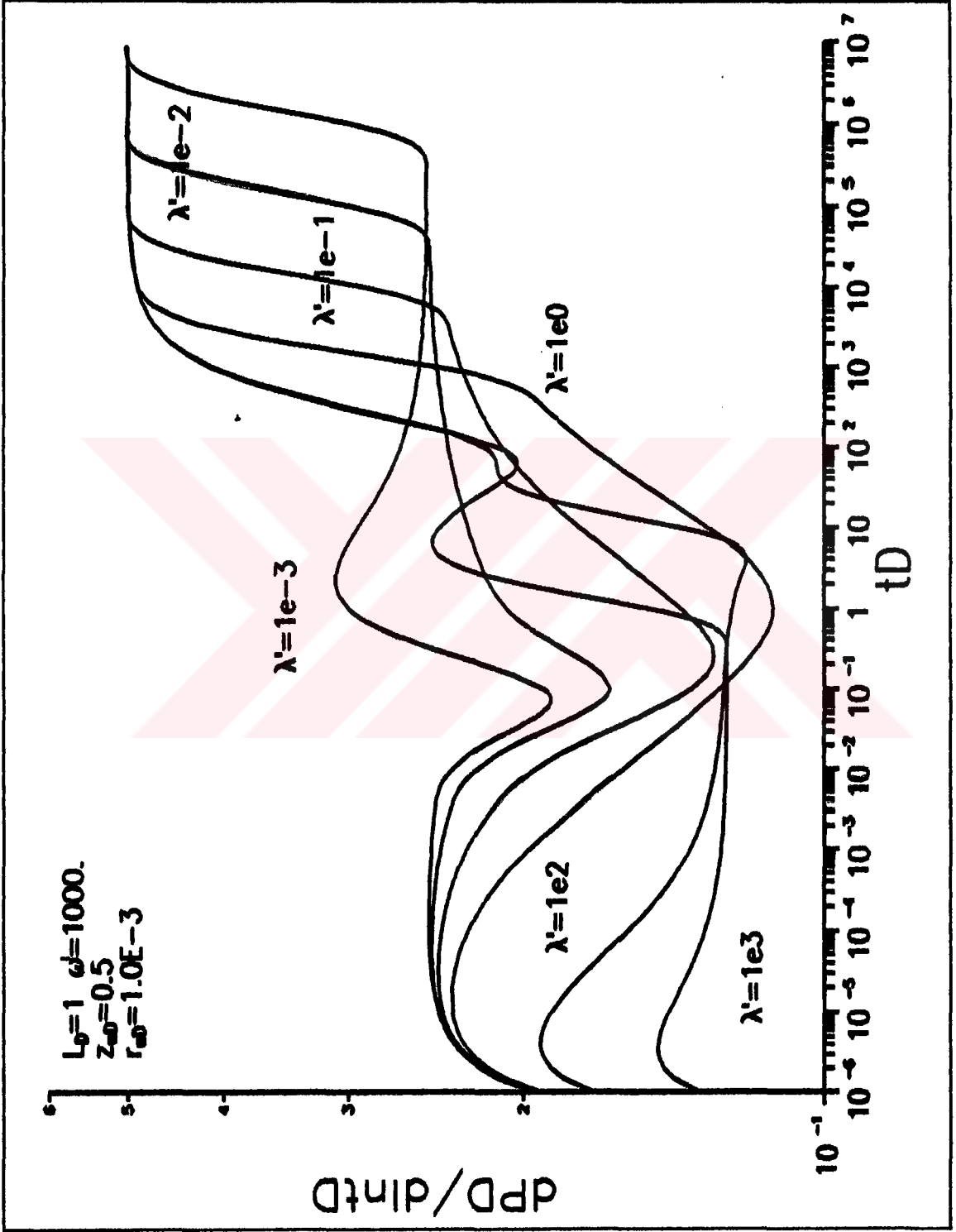
Şekil 2: $L_D=1$ ve $\omega'=10$ için basınç grafiği



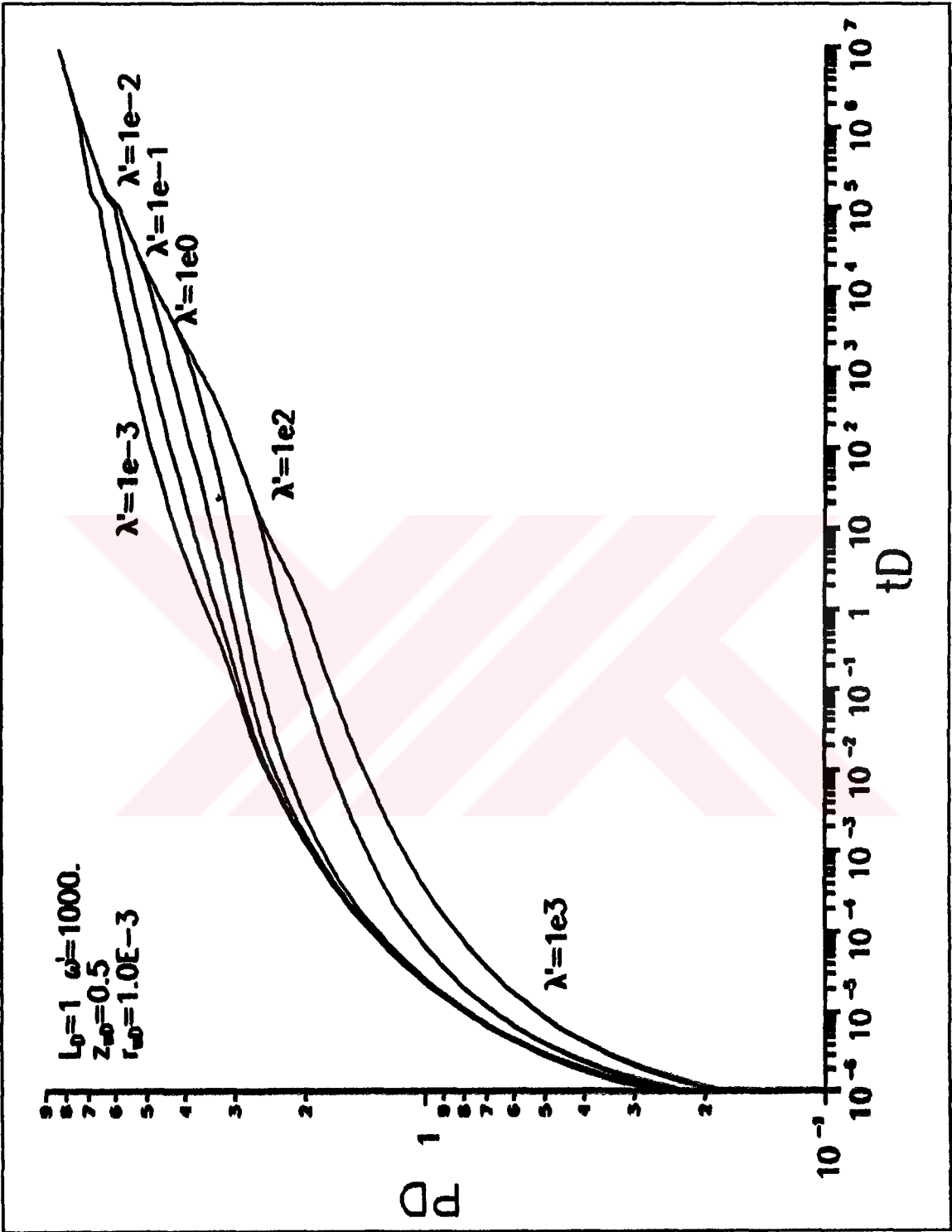
Şekil 3: $L_0=1$ ve $\omega=100$ için türev grafiği



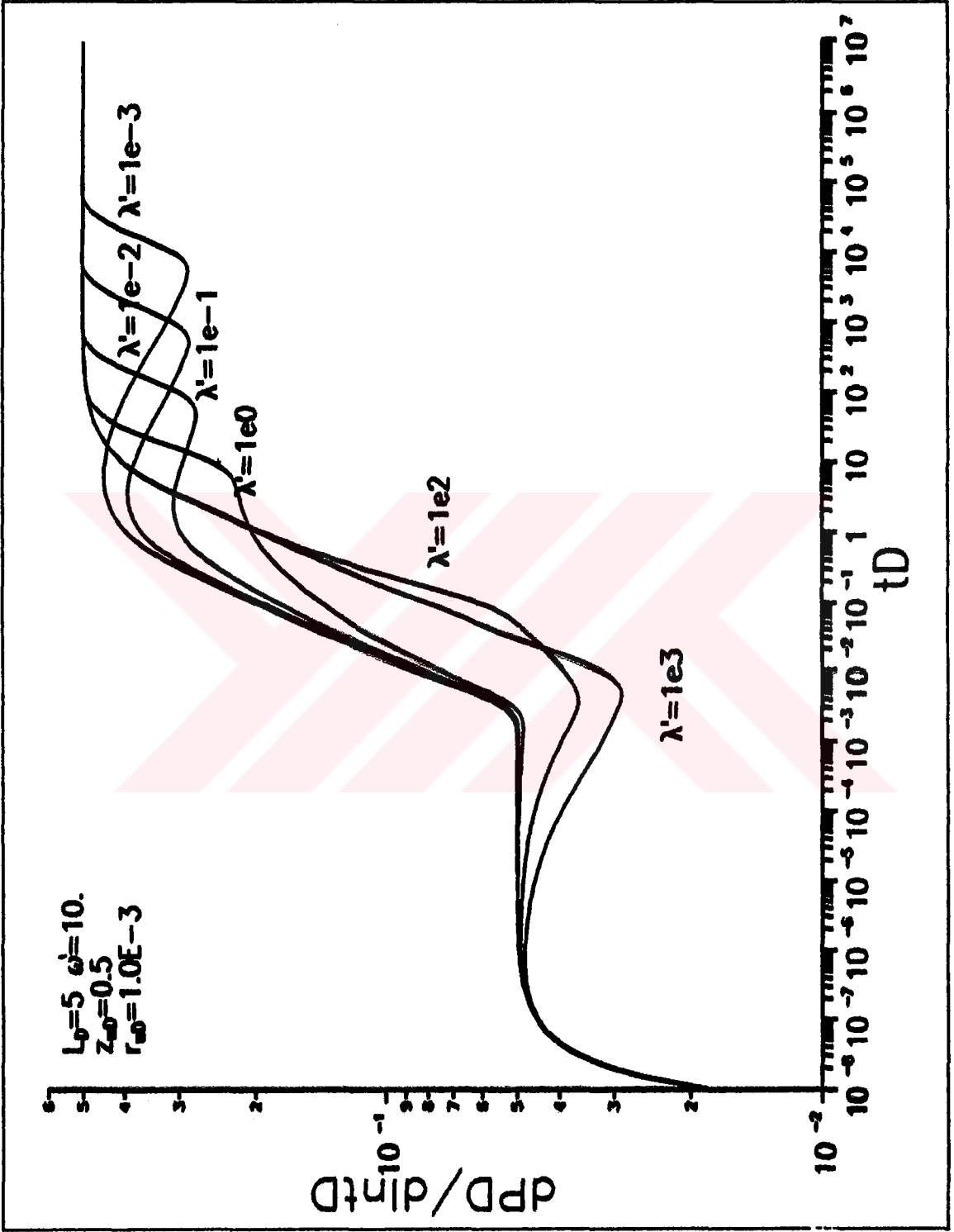
Şekil 4: $L_p=1$ ve $\omega=100$ için basınç grafiği

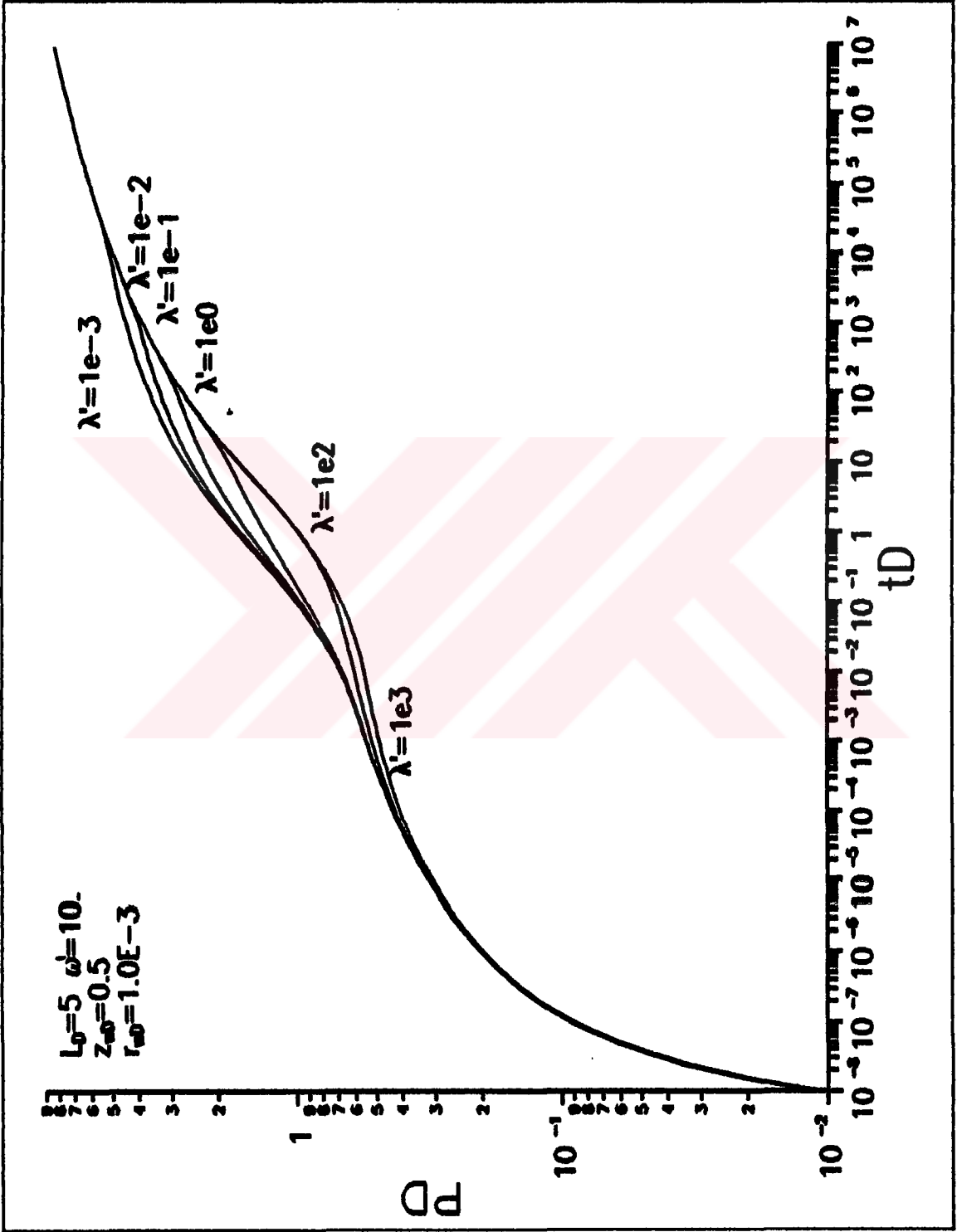


Şekil 5: $L_1=1$ ve $\omega'=1000$ için türev grafiği

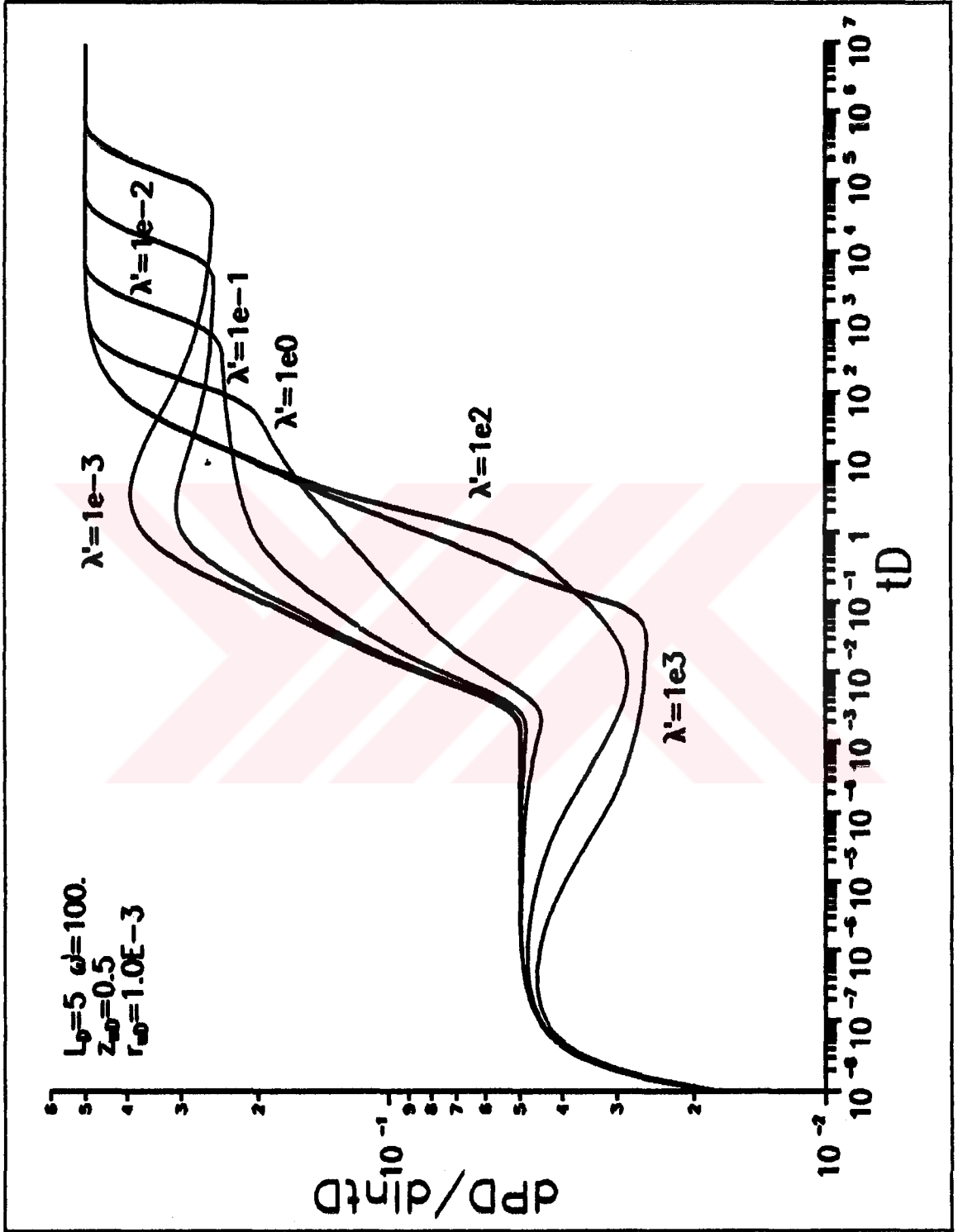


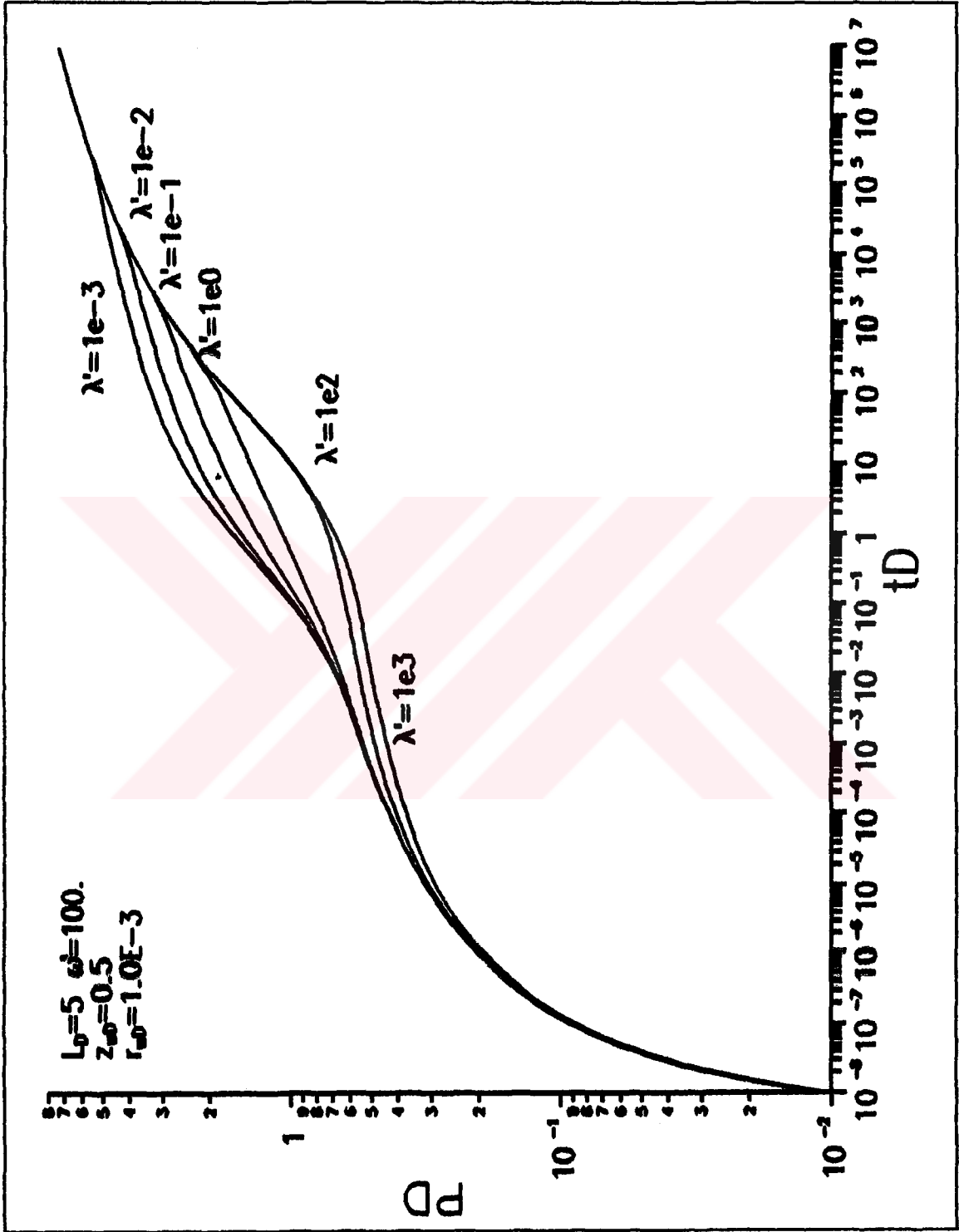
Şekil 6: $L_0=1$ ve $\omega'=1000$ için basınç grafiği

Şekil 7: $L_D = 5$ ve $\omega = 10$ için türev grafiği

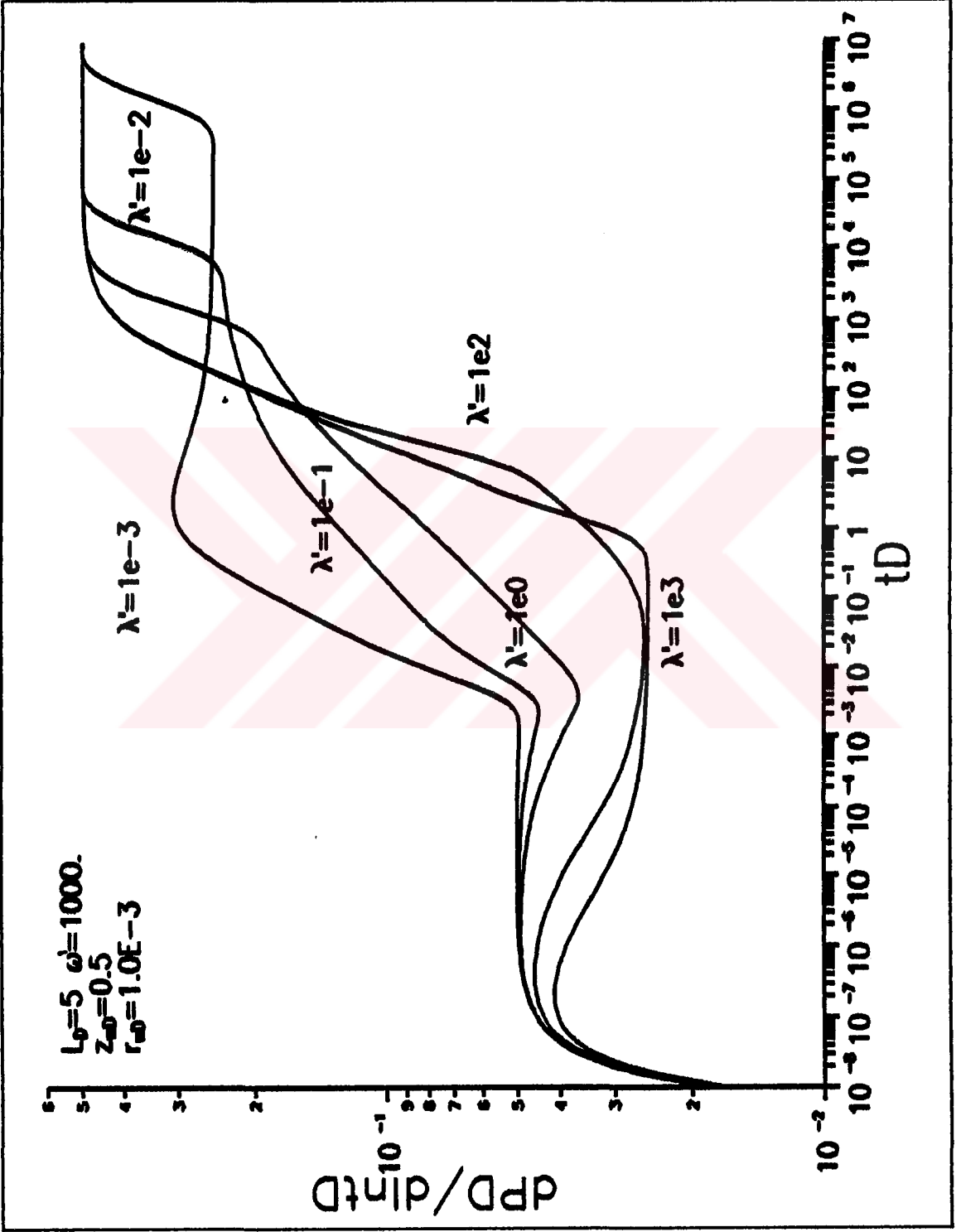


Sekil 8: $L_1=5$ ve $\omega'=10$ için basınç grafiği

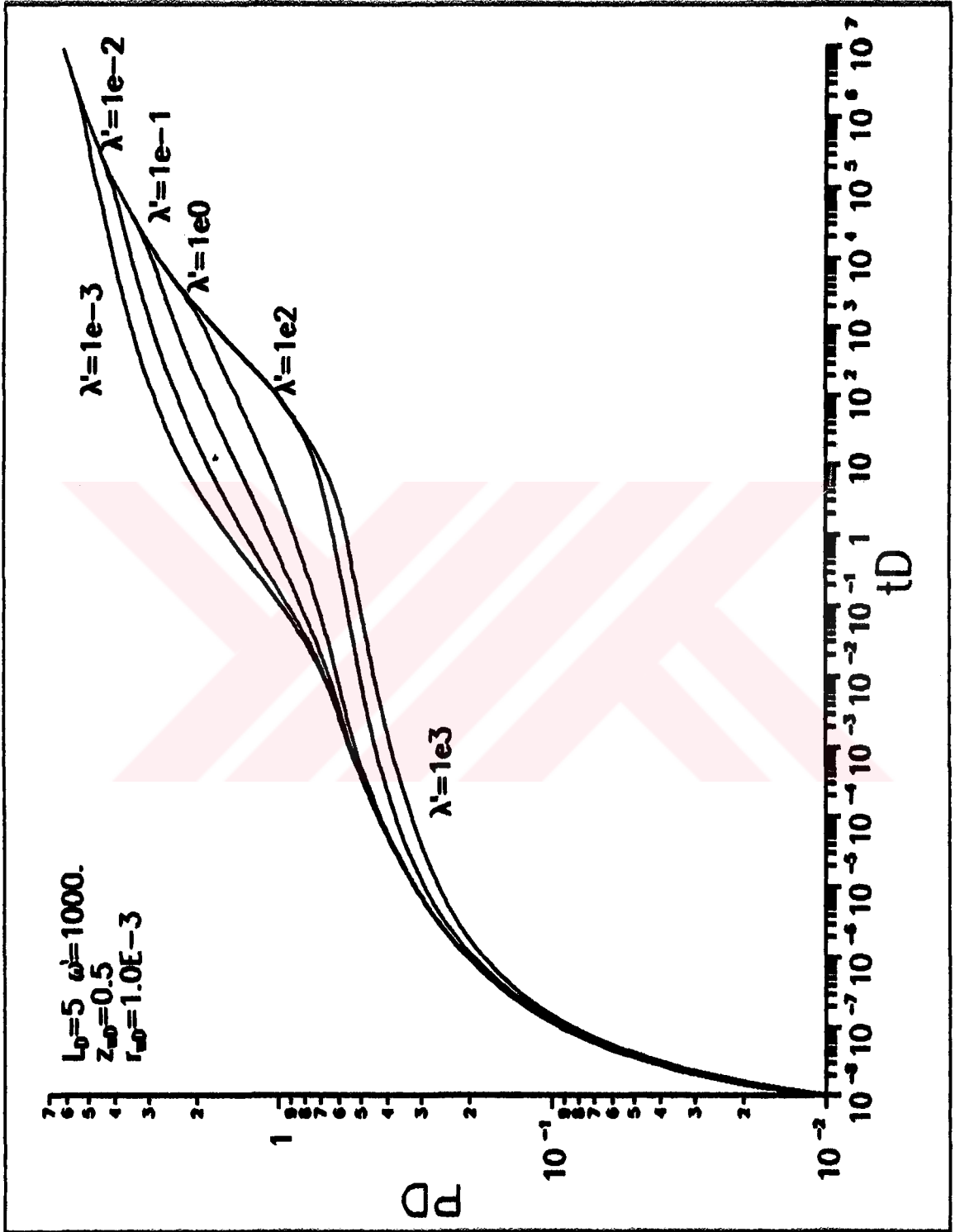
Şekil 9: $L_D=5$ ve $\omega'=100$ için türev grafiği



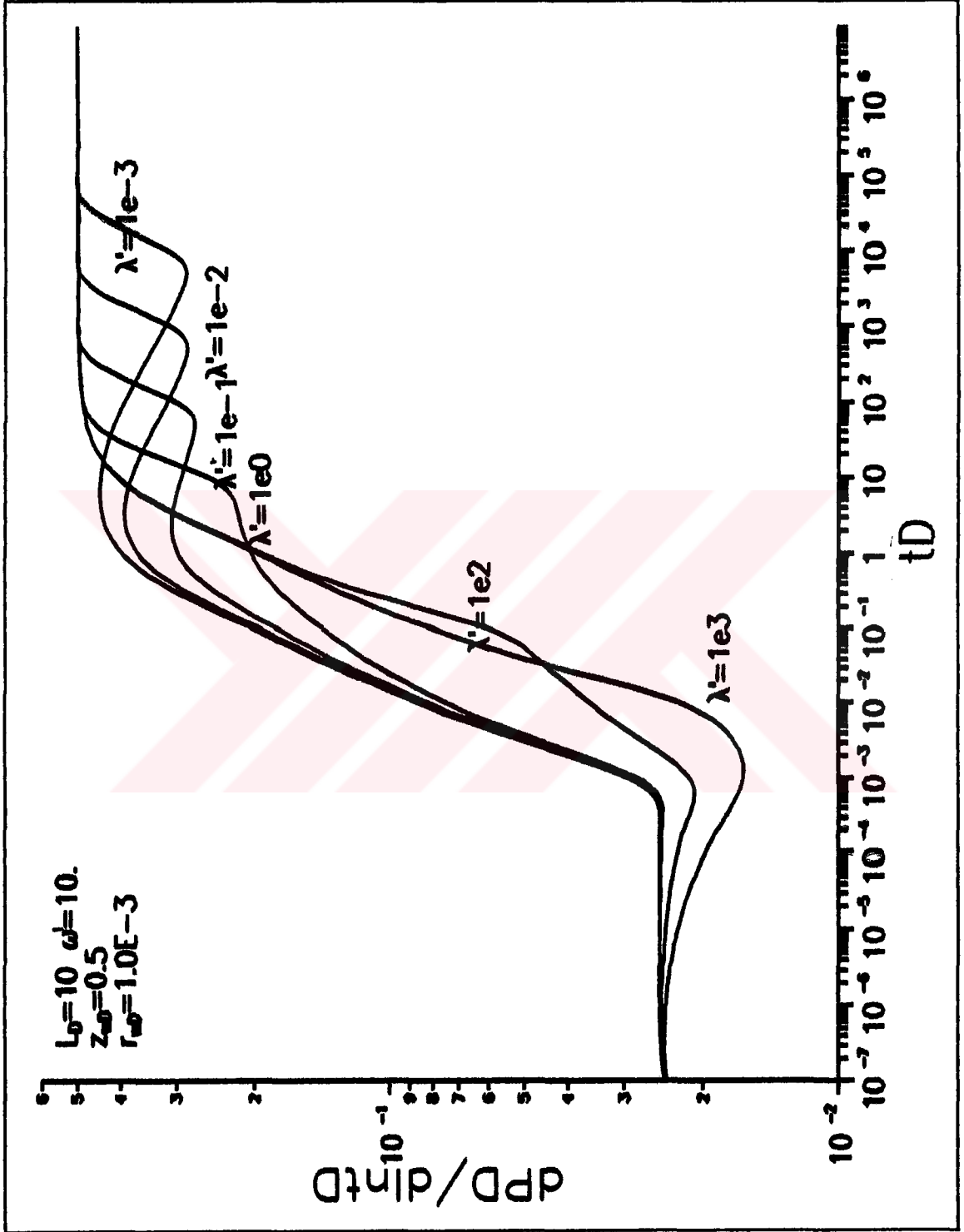
Sekil 10: $L_p=5$ ve $\omega'=100$ için basıncı grafiği

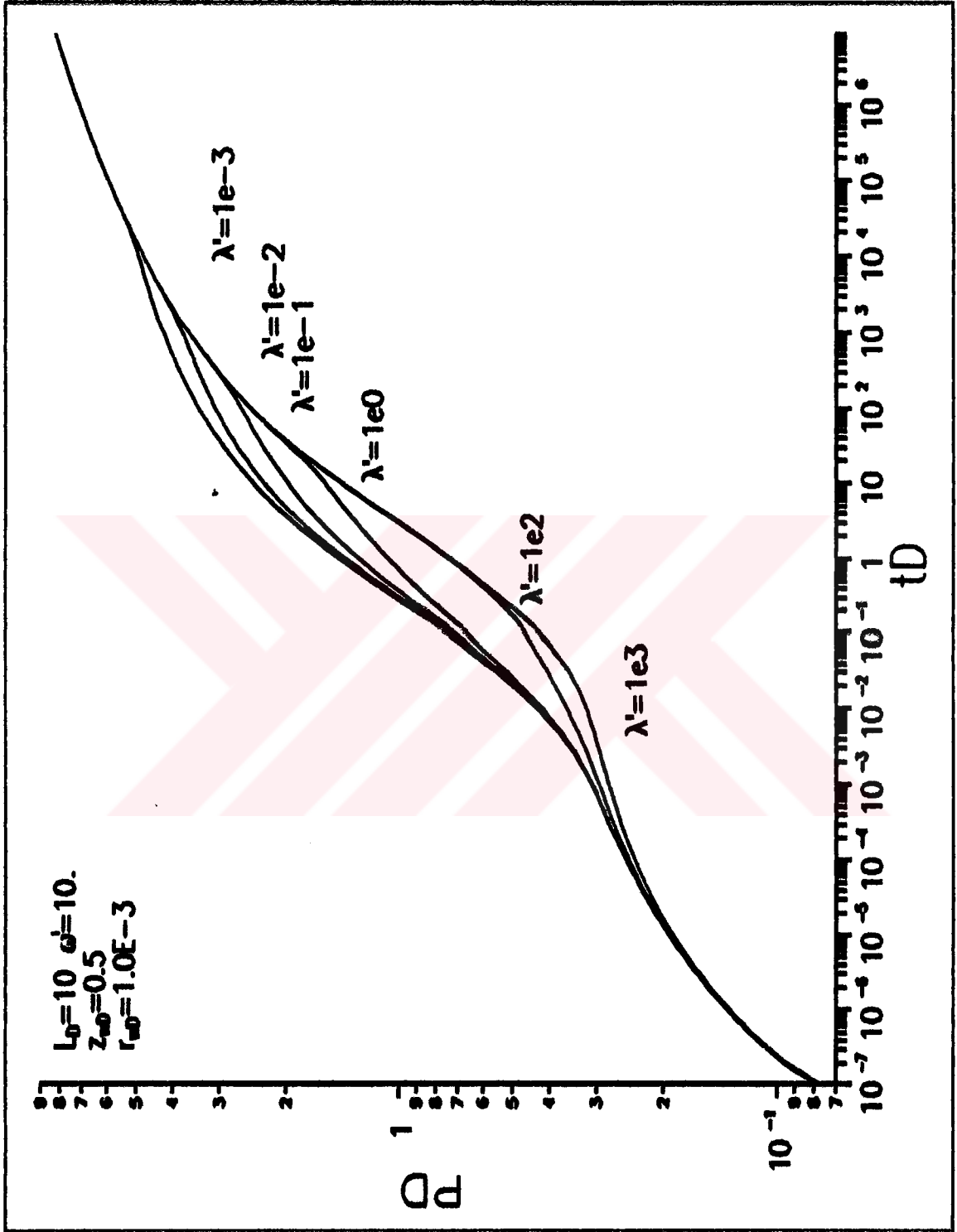


Sekil 11: $L_0=5$ ve $\omega=1000$ için türev grafiği

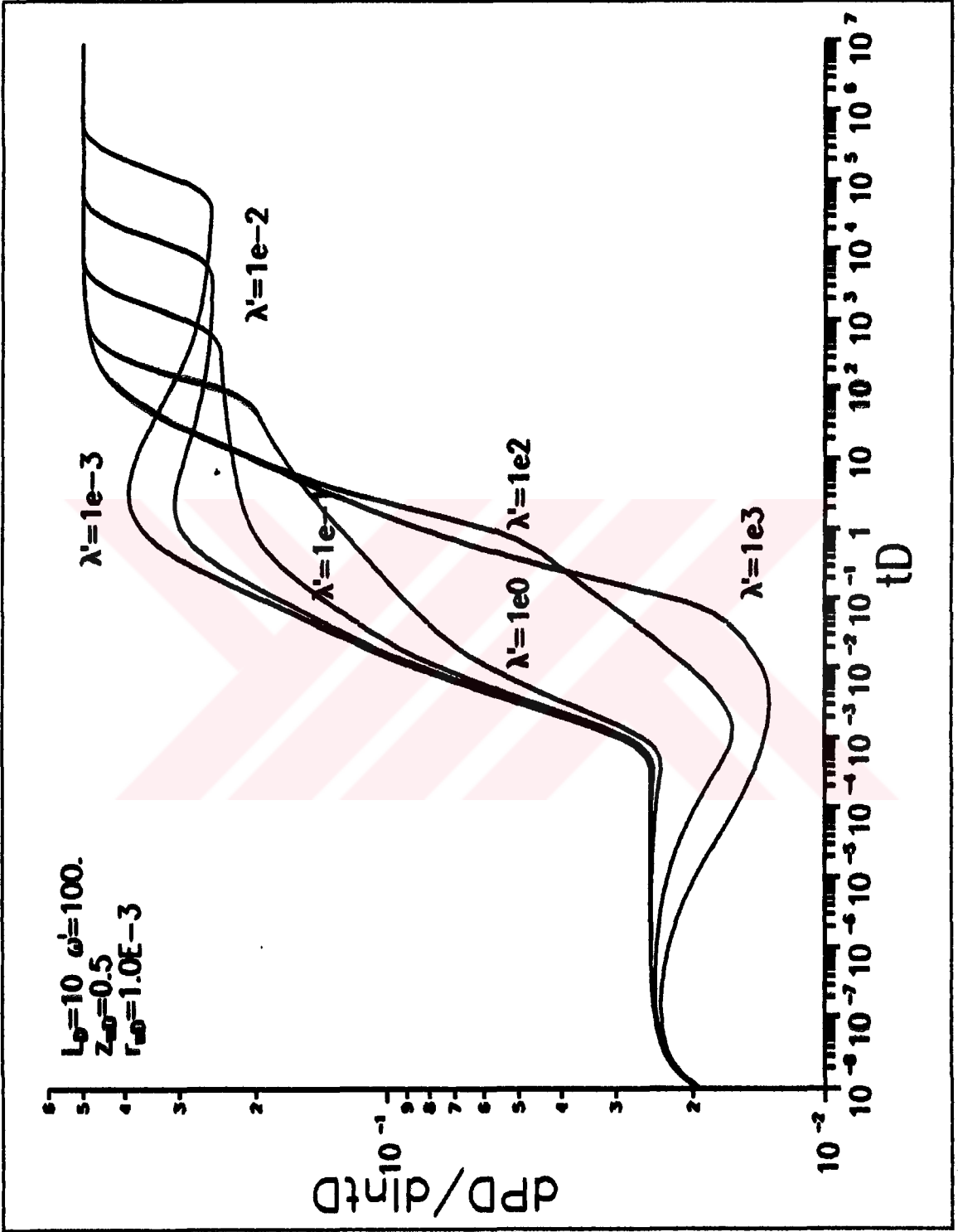


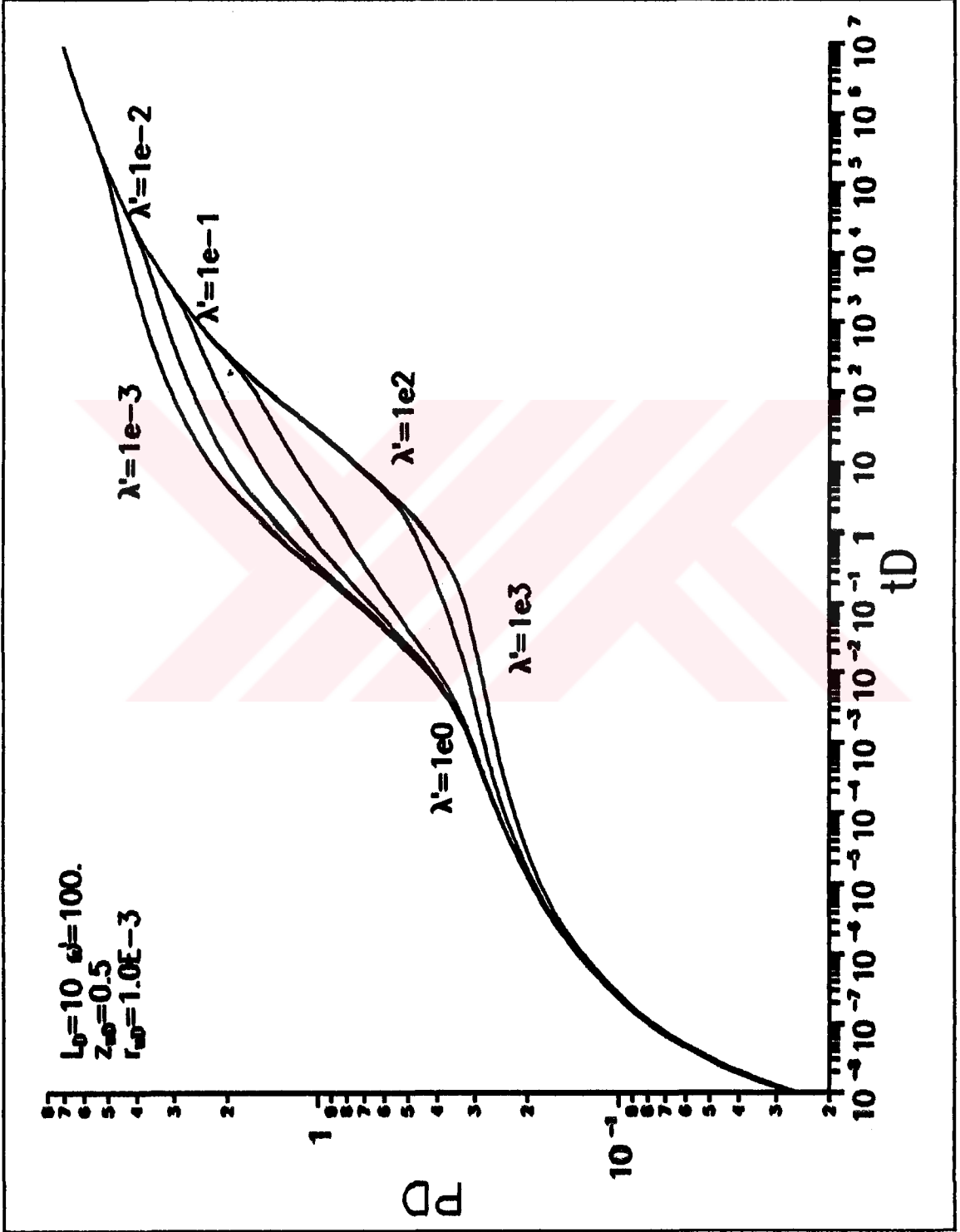
Şekil 12: $L_D=5$ ve $\omega=1000$ için basınç grafiği

Şekil 13: $L_D = 10$ ve $\omega' = 10$ için türev grafiği

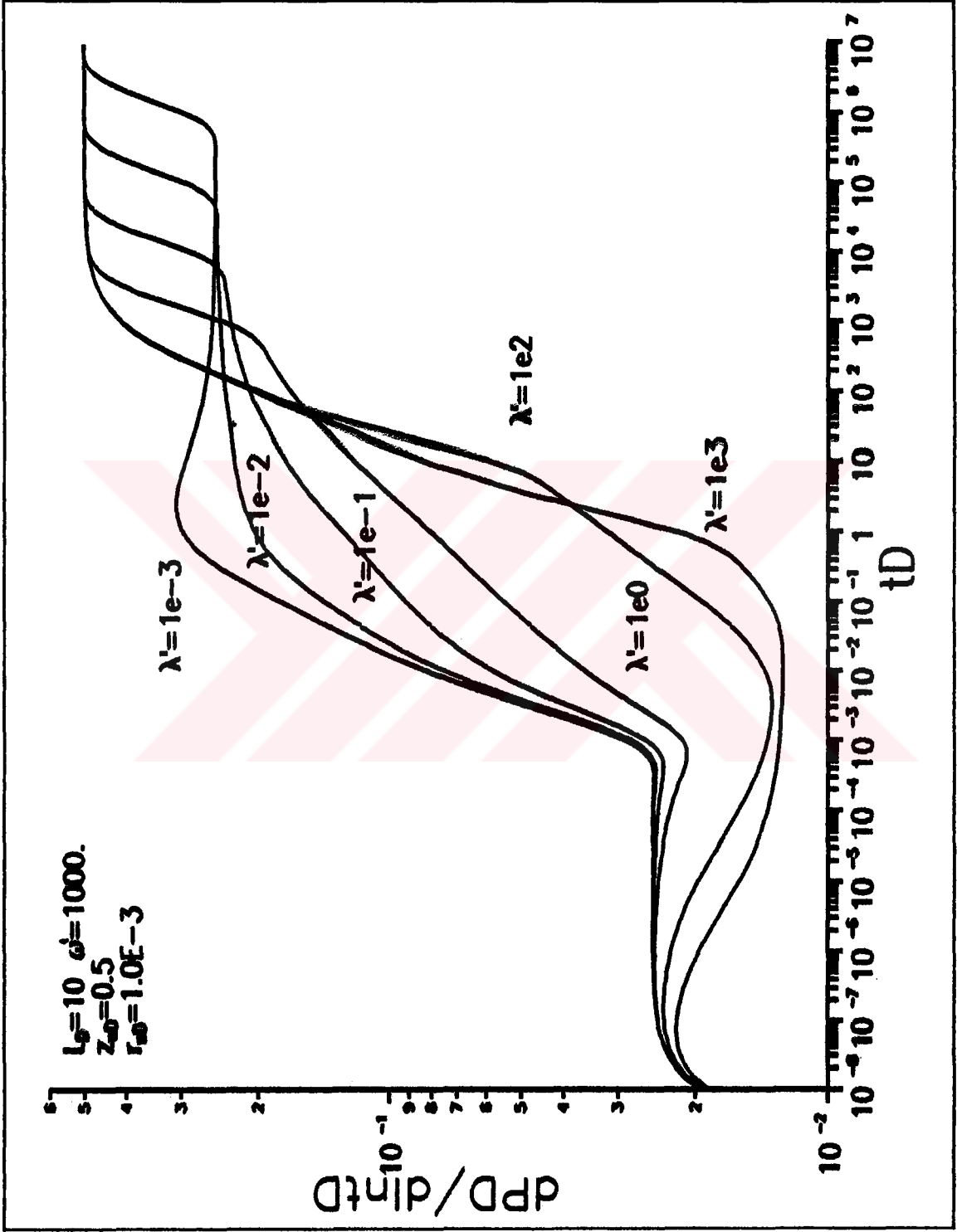


Şekil 14: $L_0=10$ ve $\omega=10$ için basınç grafiği

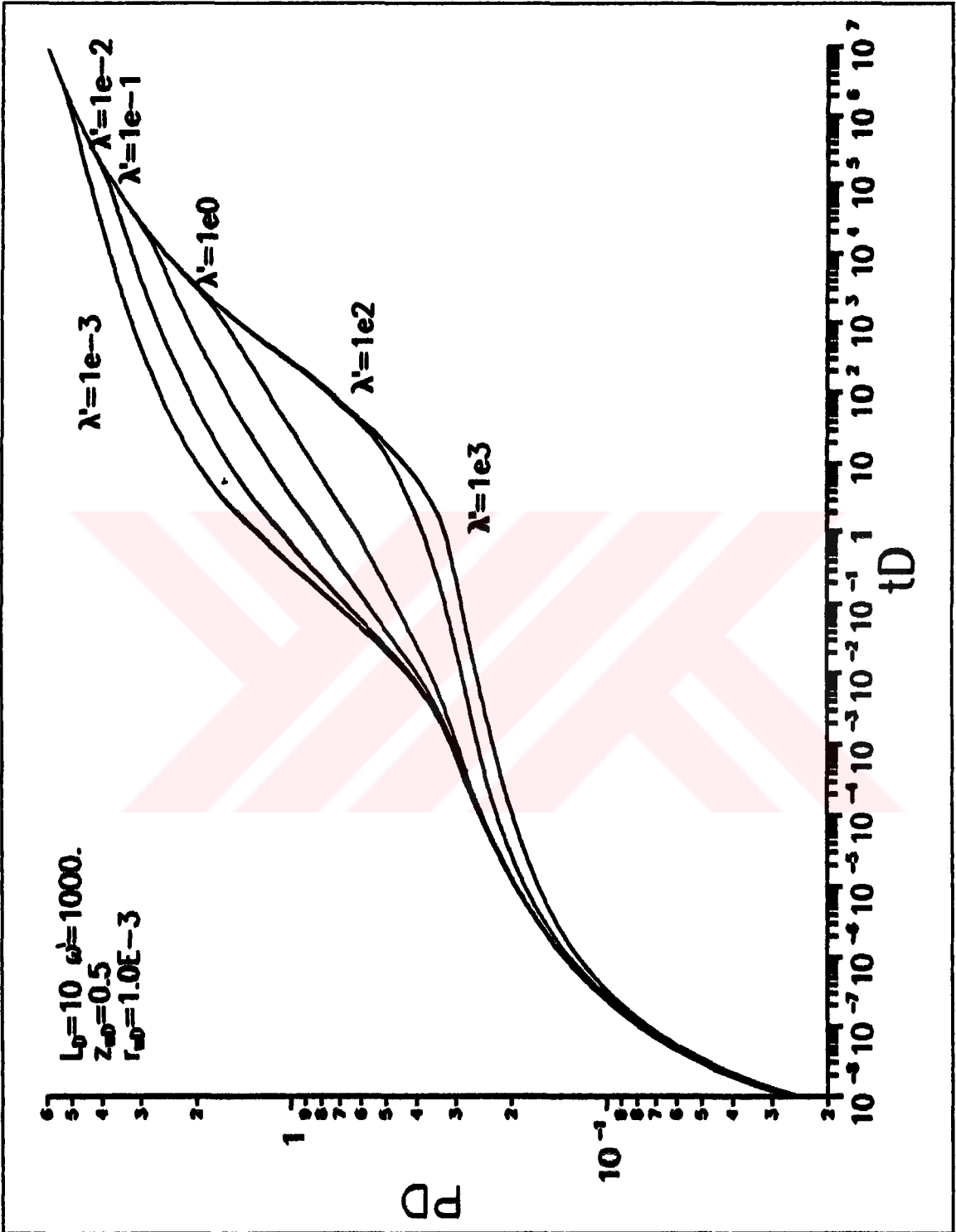
Şekil 15: $L_D = 10$ ve $\omega' = 100$ için türev grafiği



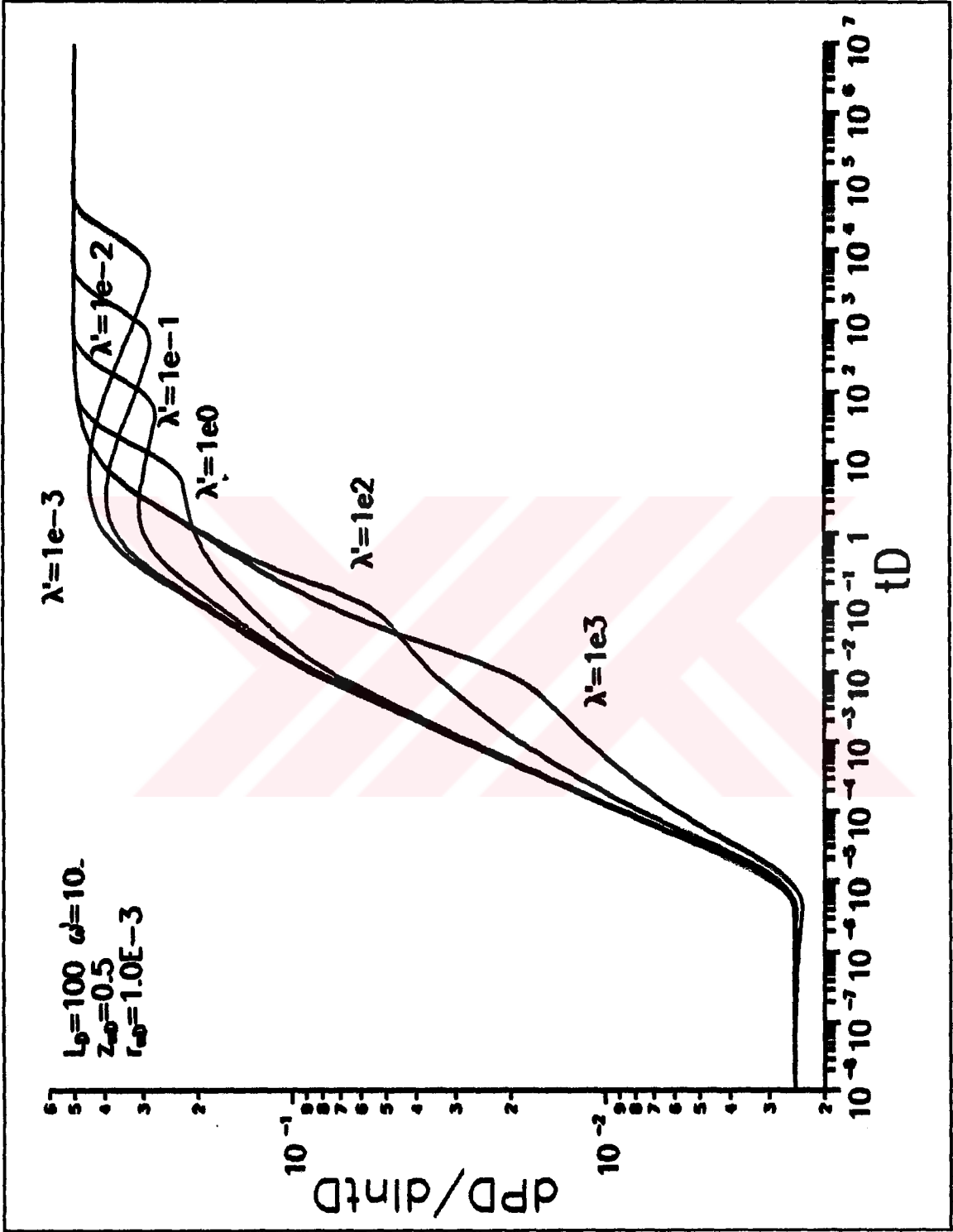
Şekil 16: $L_D = 10$ ve $\omega' = 100$ için basınç grafiği



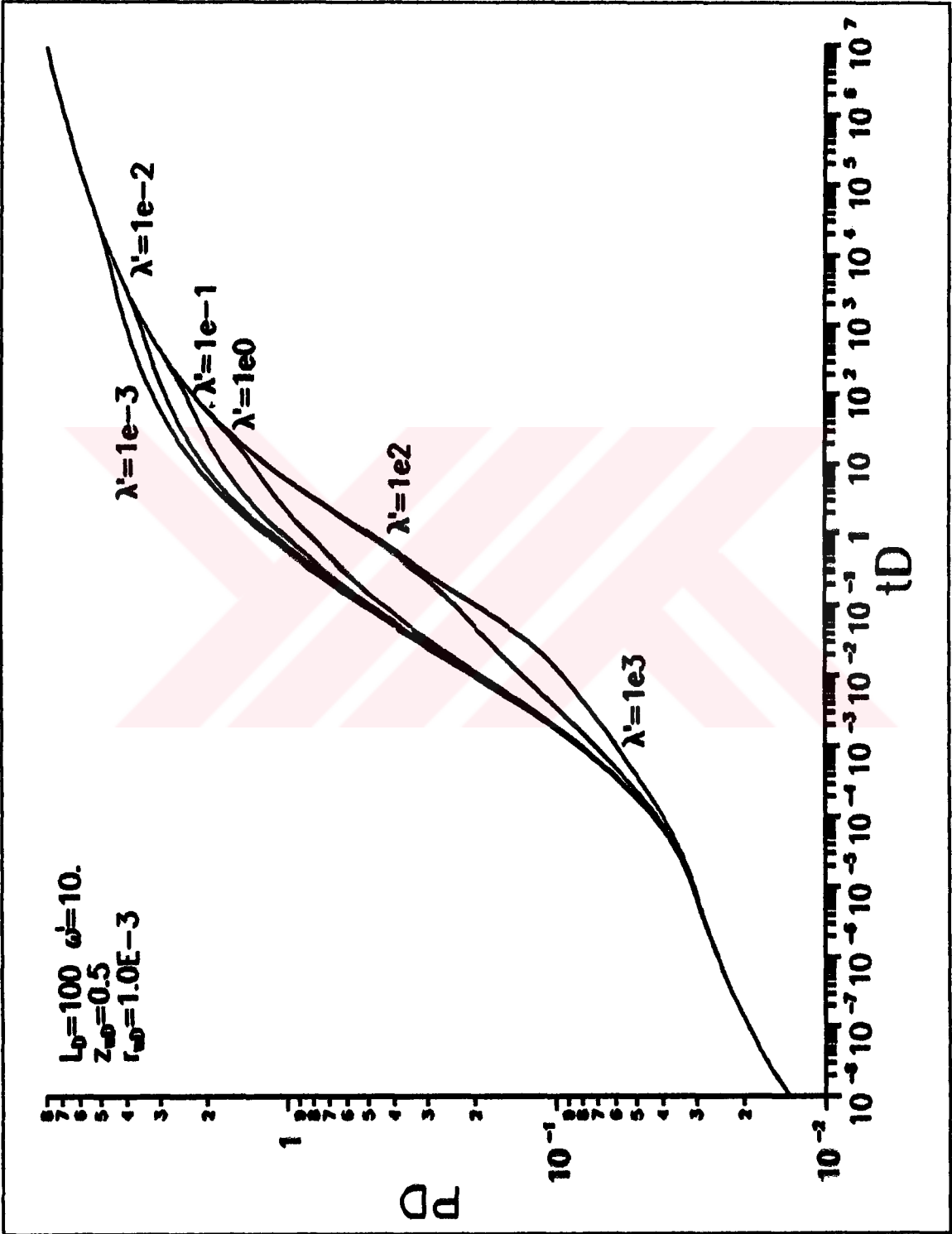
Şekil 17: $L_0 = 10$ ve $\omega' = 1000$ için türev grafiği

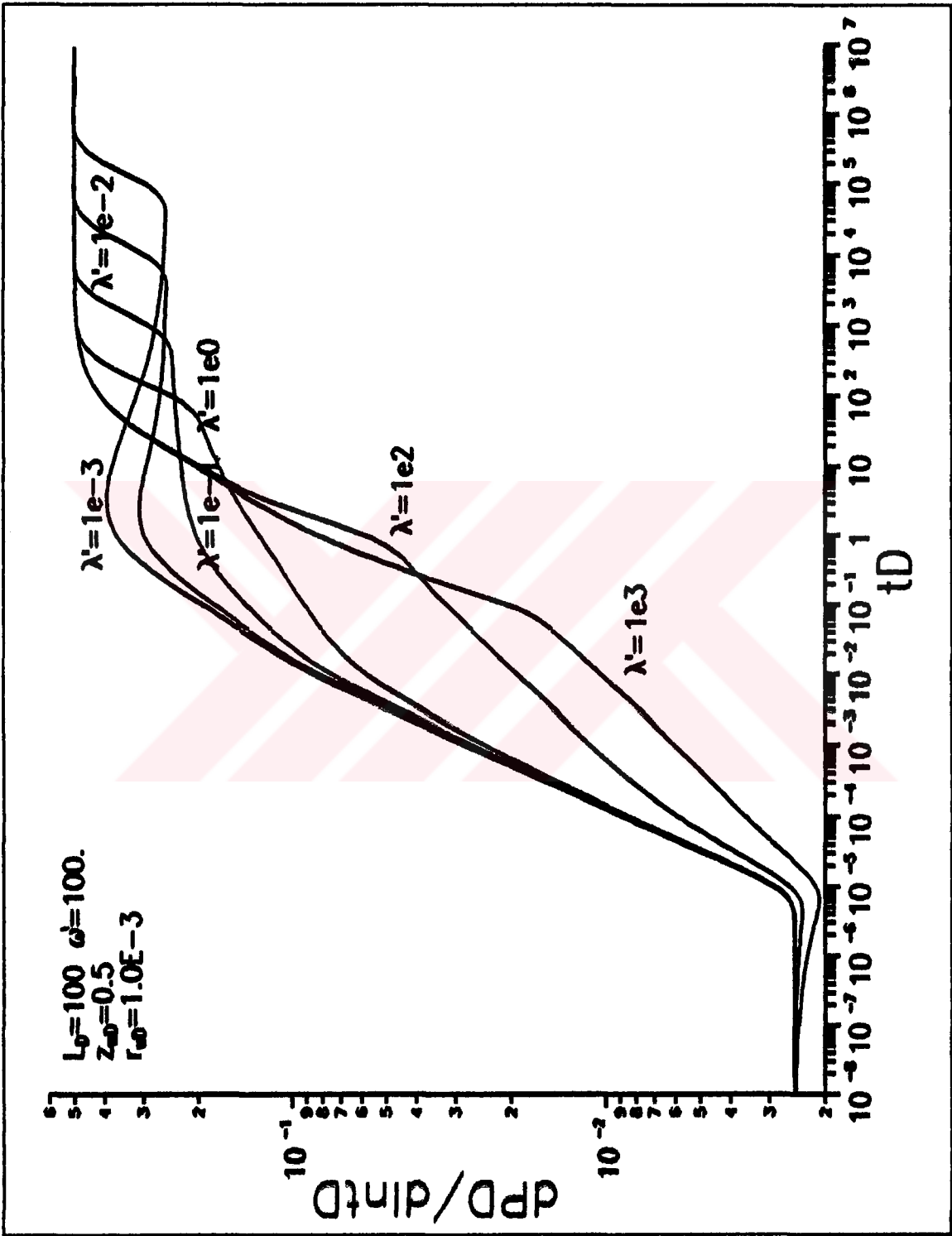


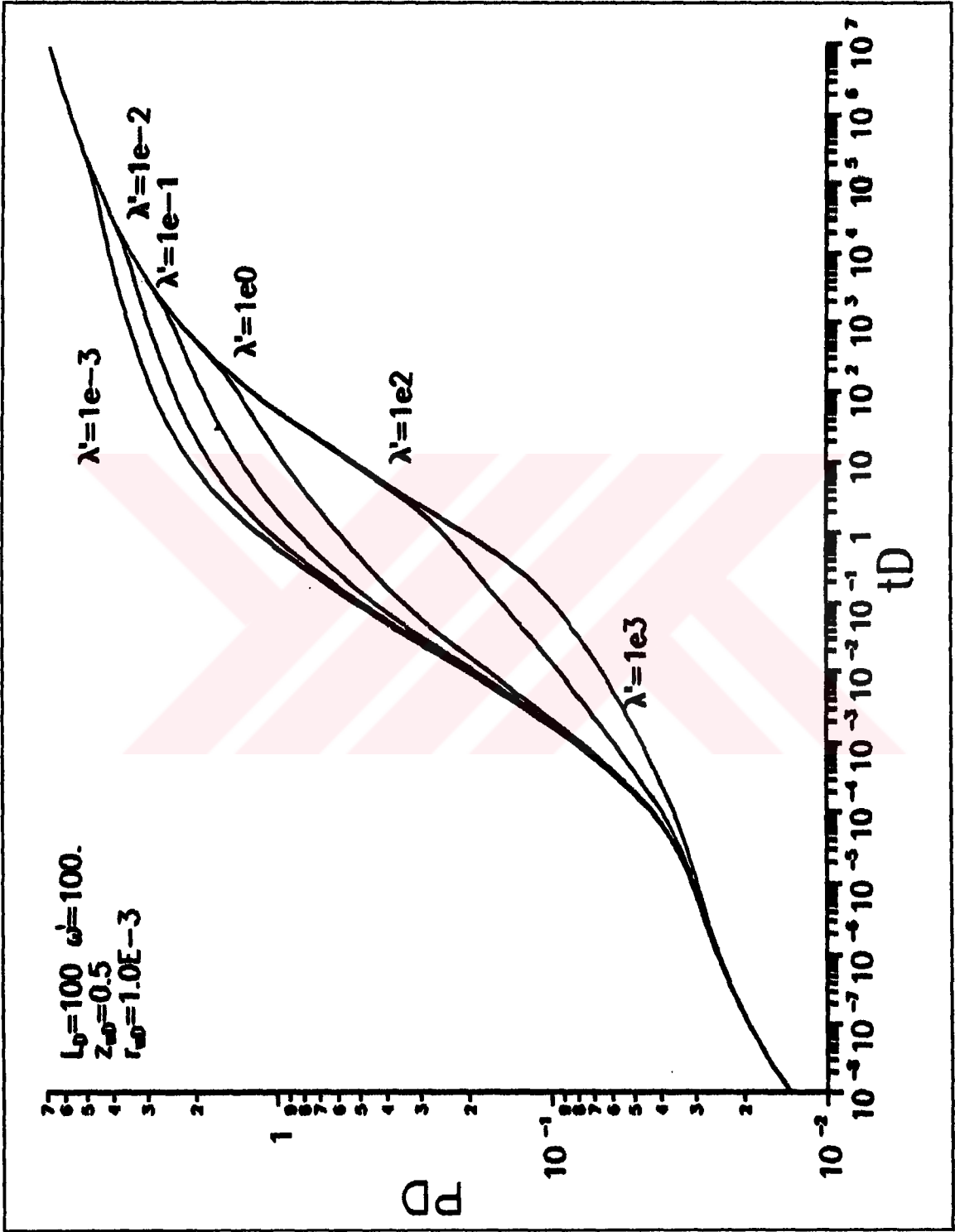
Şekil 18: $L_0=10$ ve $\omega=1000$ için basıncı grafiği



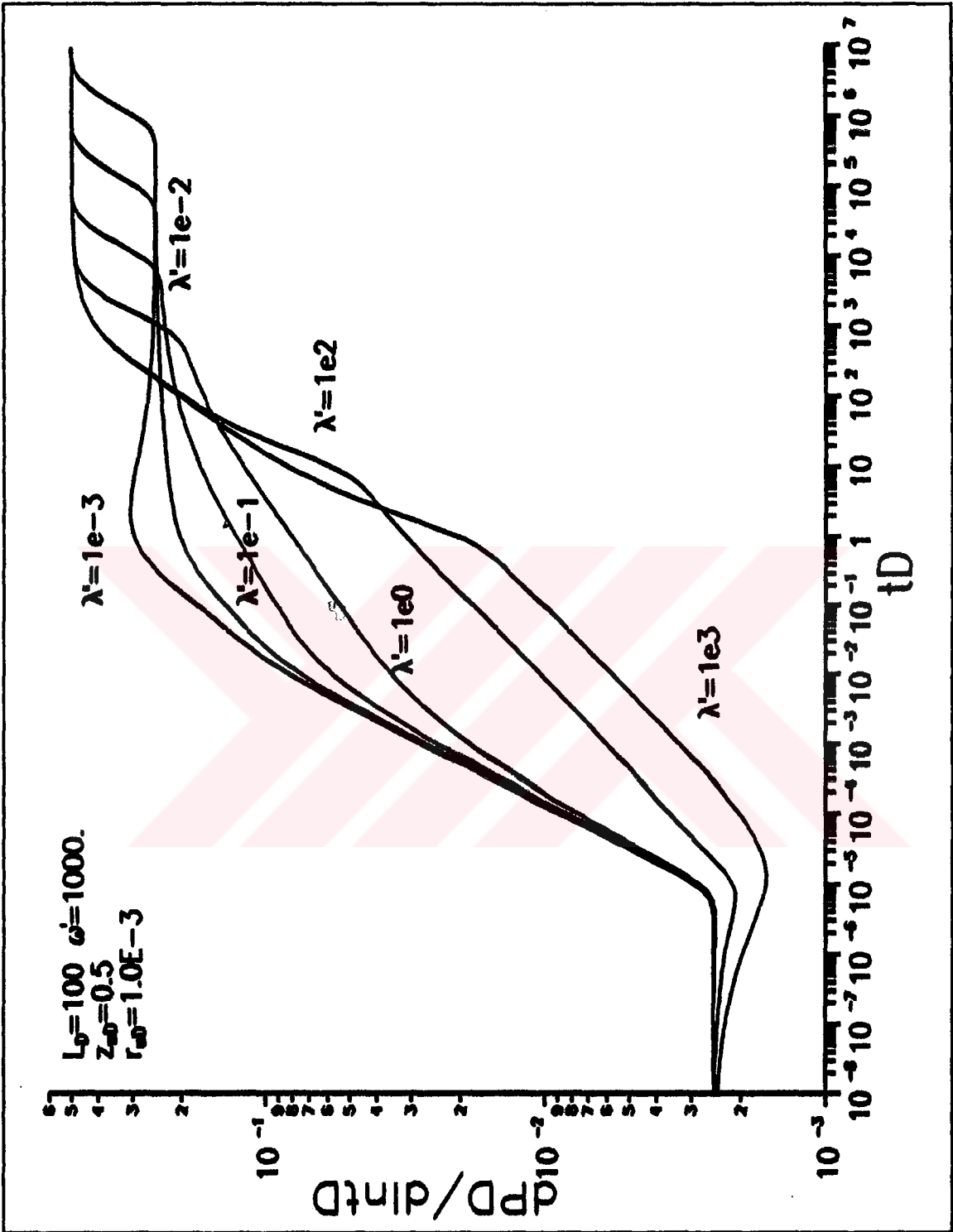
Şekil 19: $L_r=100$ ve $\omega'=10$ için türev grafiği

Şekil 20: $L_0=100$ ve $\omega=10$ için basınç grafiği

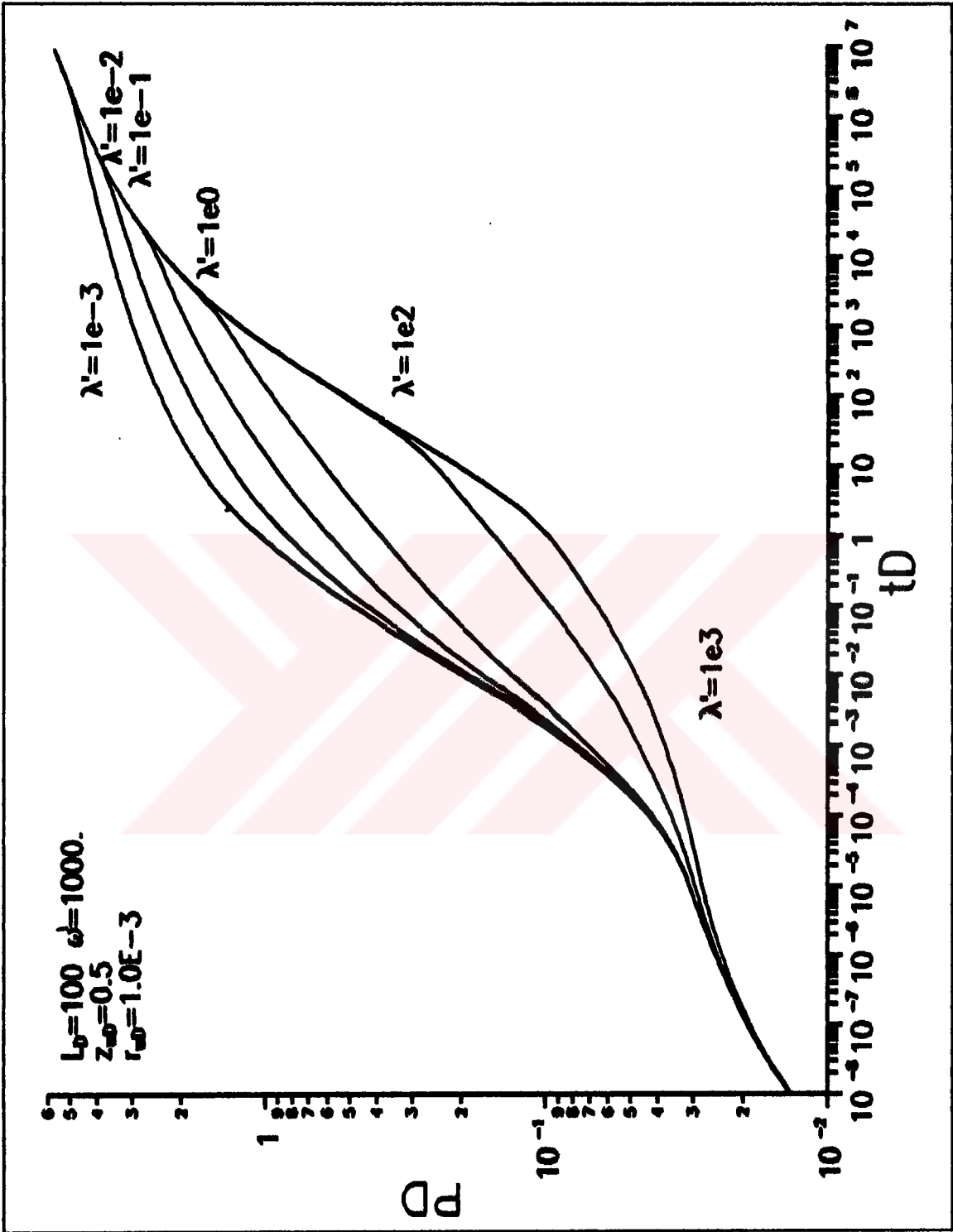
Şekil 21: $L_p=100$ ve $\omega=100$ için türev grafiği



Şekil 22: $L=100$ ve $\omega'=100$ için basınç grafiği



Şekil 23: $L_p=100$ ve $\omega=1000$ için türev grafiği

Şekil 24: $L_p=100$ ve $\omega'=1000$ için basınç grafiği

EK-C: BASINÇ VE TÖREV TABLOLARI



TABLO 1: $L_1=1$ $\omega'=10$ için basınç ve türev değerleri

	$\lambda' = .10E-02$		$.10E-01$		$.10E+00$	
t_0	P_L'	P_L	P_L'	P_L	P_L'	P_L
.35E-07	.000	.00	.000	.00	.000	.00
.10E-06	.021	.01	.021	.01	.021	.01
.35E-06	.122	.09	.122	.09	.122	.09
.10E-05	.195	.26	.195	.26	.195	.26
.35E-05	.232	.53	.232	.53	.232	.53
.10E-04	.243	.78	.243	.78	.243	.78
.35E-04	.248	1.09	.248	1.09	.248	1.09
.10E-03	.249	1.35	.249	1.35	.249	1.35
.35E-03	.250	1.67	.249	1.67	.248	1.66
.10E-02	.250	1.93	.249	1.93	.247	1.92
.35E-02	.249	2.24	.248	2.24	.245	2.23
.10E-01	.242	2.50	.240	2.50	.236	2.49
.35E-01	.210	2.79	.208	2.78	.202	2.76
.10E+00	.209	3.00	.204	2.99	.191	2.96
.35E+00	.310	3.32	.294	3.30	.254	3.24
.10E+01	.396	3.69	.366	3.65	.299	3.53
.35E+01	.441	4.22	.392	4.13	.307	3.91
.10E+02	.443	4.69	.379	4.53	.293	4.23
.35E+02	.422	5.23	.345	4.99	.276	4.59
.10E+03	.393	5.66	.315	5.33	.302	4.88
.35E+03	.351	6.13	.288	5.71	.464	5.36
.10E+04	.318	6.48	.312	6.01	.500	5.87
.35E+04	.289	7.09	.471	6.74	.498	6.73
.10E+05	.313	7.40	.501	7.26	.500	7.26
.35E+05	.472	7.89	.499	7.88	.500	7.88
.10E+06	.502	8.41	.500	8.41	.500	8.41
.35E+06	.499	9.04	.500	9.04	.500	9.04
.10E+07	.500	9.56	.500	9.56	.500	9.56

TABLO 2: $L_b=1$ $\omega'=10$ için basınç ve türev değerleri.

	$\lambda' \quad .10E+01$		$.10E+03$		$.10E+04$	
t_b	P_b'	P_b	P_b'	P_b	P_b'	P_b
.35E-07	.000	.00	.000	.00	.000	.00
.10E-06	.021	.01	.020	.01	.020	.01
.35E-06	.122	.09	.121	.09	.118	.09
.10E-05	.195	.26	.193	.26	.187	.25
.35E-05	.232	.53	.227	.52	.217	.51
.10E-04	.243	.78	.235	.77	.220	.74
.35E-04	.247	1.09	.234	1.06	.211	1.01
.10E-03	.247	1.35	.227	1.31	.196	1.23
.35E-03	.245	1.66	.213	1.58	.175	1.46
.10E-02	.242	1.91	.197	1.80	.159	1.63
.35E-02	.236	2.21	.176	2.03	.145	1.82
.10E-01	.222	2.46	.159	2.21	.136	1.98
.35E-01	.186	2.71	.140	2.39	.235	2.22
.10E+00	.164	2.89	.146	2.54	.244	2.48
.35E+00	.186	3.11	.208	2.77	.214	2.77
.10E+01	.207	3.32	.215	2.99	.208	2.98
.35E+01	.221	3.58	.304	3.30	.308	3.30
.10E+02	.255	3.83	.405	3.68	.406	3.67
.35E+02	.422	4.25	.468	4.23	.468	4.23
.10E+03	.487	4.73	.488	4.73	.488	4.73
.35E+03	.495	5.35	.496	5.35	.496	5.35
.10E+04	.499	5.87	.499	5.87	.499	5.87
.35E+04	.500	6.73	.500	6.73	.500	6.73
.10E+05	.500	7.26	.500	7.26	.500	7.26
.35E+05	.500	7.88	.500	7.88	.500	7.88
.10E+06	.500	8.41	.500	8.41	.500	8.41
.35E+06	.500	9.04	.500	9.04	.500	9.04
.10E+07	.500	9.56	.500	9.56	.500	9.56

TABLO 3: $L_0=1$ $\omega'=100$ için basınç ve türev değerleri.

	$\lambda' \quad .10E-02$		$.10E-01$		$.10E+00$	
t_b	P_b'	P_b	P_b'	P_b	P_b'	P_b
.10E-06	.021	.01	.021	.01	.021	.01
.35E-06	.122	.09	.122	.09	.122	.09
.10E-05	.195	.26	.195	.26	.195	.26
.35E-05	.232	.53	.232	.53	.232	.53
.10E-04	.243	.78	.243	.78	.243	.78
.35E-04	.248	1.09	.248	1.09	.247	1.09
.10E-03	.249	1.35	.249	1.35	.247	1.35
.35E-03	.249	1.67	.248	1.66	.245	1.66
.10E-02	.249	1.93	.247	1.92	.242	1.91
.35E-02	.248	2.24	.245	2.23	.236	2.21
.10E-01	.240	2.50	.236	2.49	.222	2.46
.35E-01	.208	2.78	.202	2.76	.186	2.71
.10E+00	.204	2.99	.191	2.96	.164	2.89
.35E+00	.294	3.30	.254	3.24	.186	3.11
.10E+01	.366	3.65	.299	3.53	.207	3.32
.35E+01	.392	4.13	.307	3.91	.221	3.58
.10E+02	.379	4.53	.293	4.23	.227	3.82
.35E+02	.345	4.99	.276	4.59	.234	4.11
.10E+03	.315	5.33	.265	4.87	.238	4.36
.35E+03	.288	5.71	.258	5.20	.242	4.66
.10E+04	.273	6.00	.254	5.47	.289	4.93
.35E+04	.262	6.34	.252	5.78	.465	5.40
.10E+05	.257	6.61	.299	6.06	.500	5.91
.35E+05	.254	7.17	.471	6.78	.498	6.78
.10E+06	.300	7.45	.501	7.30	.500	7.30
.35E+06	.472	7.93	.499	7.93	.500	7.93
.10E+07	.501	8.45	.500	8.45	.500	8.45
.35E+07	.499	9.08	.500	9.08	.500	9.08

TABLO 4: $L_0=1$ $\omega'=100$ için basınç ve türev değerleri.

	$\lambda' \quad .10E+01$		$.10E+03$		$.10E+04$	
t_0	P_b'	P_L	P_b'	P_L	P_b'	P_L
.35E-07	.000	.00	.000	.00	.000	.00
.10E-06	.021	.01	.020	.01	.019	.01
.35E-06	.122	.09	.118	.09	.109	.08
.10E-05	.195	.26	.187	.25	.170	.23
.35E-05	.231	.53	.217	.51	.192	.46
.10E-04	.241	.78	.220	.74	.187	.66
.35E-04	.243	1.08	.211	1.01	.172	.89
.10E-03	.242	1.34	.196	1.23	.157	1.06
.35E-03	.236	1.64	.175	1.46	.144	1.25
.10E-02	.228	1.88	.159	1.63	.136	1.40
.35E-02	.213	2.16	.145	1.82	.131	1.56
.10E-01	.194	2.37	.137	1.97	.129	1.70
.35E-01	.160	2.60	.131	2.14	.127	1.86
.10E+00	.136	2.75	.127	2.27	.150	2.00
.35E+00	.130	2.91	.122	2.43	.235	2.24
.10E+01	.139	3.05	.140	2.56	.243	2.50
.35E+01	.158	3.24	.207	2.78	.212	2.79
.10E+02	.175	3.41	.218	3.00	.211	3.00
.35E+02	.195	3.65	.313	3.33	.317	3.32
.10E+03	.245	3.87	.411	3.71	.412	3.71
.35E+03	.424	4.29	.470	4.27	.470	4.27
.10E+04	.488	4.77	.489	4.77	.489	4.77
.35E+04	.495	5.39	.496	5.39	.496	5.39
.10E+05	.499	5.91	.499	5.91	.499	5.91
.35E+05	.500	6.78	.500	6.78	.500	6.78
.10E+06	.500	7.30	.500	7.30	.500	7.30
.35E+06	.500	7.93	.500	7.93	.500	7.93
.10E+07	.500	8.45	.500	8.45	.500	8.45
.35E+07	.500	9.08	.500	9.08	.500	9.08

TABLO 5: $L_t=1$ $\omega'=1000$ için basınç ve türev değerleri.

	$\lambda' \quad .10E-02$		$.10E-01$		$.10E+00$	
t_b	P_b'	P_b	P_b'	P_b	P_b'	P_b
.10E-06	.021	.01	.021	.01	.021	.01
.35E-06	.122	.09	.122	.09	.122	.09
.10E-05	.195	.26	.195	.26	.195	.26
.35E-05	.232	.53	.232	.53	.231	.53
.10E-04	.243	.78	.243	.78	.241	.78
.35E-04	.248	1.09	.247	1.09	.243	1.08
.10E-03	.249	1.35	.247	1.35	.242	1.34
.35E-03	.248	1.66	.245	1.66	.236	1.64
.10E-02	.247	1.92	.242	1.91	.228	1.88
.35E-02	.245	2.23	.236	2.21	.213	2.16
.10E-01	.236	2.49	.222	2.46	.194	2.37
.35E-01	.202	2.76	.186	2.71	.160	2.60
.10E+00	.191	2.96	.164	2.89	.136	2.75
.35E+00	.254	3.24	.186	3.11	.130	2.91
.10E+01	.299	3.53	.207	3.32	.139	3.05
.35E+01	.307	3.91	.221	3.58	.158	3.24
.10E+02	.293	4.23	.227	3.82	.175	3.41
.35E+02	.276	4.59	.234	4.11	.196	3.65
.10E+03	.265	4.87	.238	4.36	.210	3.86
.35E+03	.258	5.20	.242	4.66	.223	4.13
.10E+04	.254	5.47	.244	4.91	.231	4.37
.35E+04	.252	5.78	.246	5.22	.238	4.66
.10E+05	.251	6.05	.247	5.48	.288	4.93
.35E+05	.250	6.36	.249	5.79	.465	5.41
.10E+06	.250	6.62	.297	6.07	.500	5.92
.35E+06	.250	7.17	.471	6.79	.498	6.78
.10E+07	.299	7.45	.501	7.31	.500	7.31
.35E+07	.472	7.94	.499	7.93	.500	7.93

TABLO 6: $L_t=1$ $\omega'=1000$ için basınç ve türev değerleri.

t_D	$\lambda' \quad .10E+01$		$.10E+03$		$.10E+04$	
	P_b'	P_b	P_b'	P_b	P_b'	P_b
.10E-06	.020	.01	.019	.01	.015	.00
.35E-06	.121	.09	.109	.08	.087	.07
.10E-05	.193	.26	.170	.23	.134	.18
.35E-05	.227	.52	.192	.46	.147	.36
.10E-04	.235	.77	.187	.66	.143	.52
.35E-04	.234	1.06	.172	.89	.136	.69
.10E-03	.227	1.31	.157	1.06	.132	.83
.35E-03	.213	1.58	.144	1.25	.128	.99
.10E-02	.197	1.80	.136	1.40	.127	1.13
.35E-02	.176	2.03	.131	1.56	.126	1.29
.10E-01	.159	2.21	.129	1.70	.125	1.42
.35E-01	.140	2.39	.127	1.86	.125	1.58
.10E+00	.127	2.54	.126	1.99	.125	1.71
.35E+00	.116	2.69	.125	2.15	.125	1.86
.10E+01	.112	2.81	.123	2.28	.149	2.00
.35E+01	.118	2.95	.120	2.43	.235	2.25
.10E+02	.131	3.08	.139	2.56	.243	2.50
.35E+02	.152	3.26	.207	2.78	.212	2.79
.10E+03	.171	3.43	.218	3.01	.212	3.00
.35E+03	.193	3.65	.314	3.33	.318	3.33
.10E+04	.244	3.87	.412	3.71	.413	3.71
.35E+04	.424	4.29	.471	4.27	.471	4.27
.10E+05	.488	4.78	.489	4.78	.489	4.78
.35E+05	.496	5.40	.497	5.40	.497	5.40
.10E+06	.498	5.92	.499	5.92	.499	5.92
.35E+06	.500	6.78	.500	6.78	.500	6.78
.10E+07	.500	7.31	.500	7.31	.500	7.31
.35E+07	.500	7.93	.500	7.93	.500	7.93

TABLO 7: $L_0=5$ $\omega'=10$ için basınç ve türev değerleri.

t_0	$\lambda' \quad .10E-02$		$.10E-01$		$.10E+00$	
	P_0'	P_0	P_0'	P_0	P_0'	P_0
.10E-07	.018	.01	.018	.01	.018	.01
.50E-07	.041	.06	.041	.06	.041	.06
.10E-06	.045	.09	.045	.09	.045	.09
.50E-06	.049	.17	.049	.17	.049	.17
.10E-05	.049	.20	.049	.20	.049	.20
.50E-05	.050	.28	.050	.28	.050	.28
.10E-04	.050	.32	.050	.32	.050	.32
.50E-04	.050	.40	.050	.40	.050	.40
.10E-03	.050	.43	.050	.43	.050	.43
.50E-03	.050	.51	.050	.51	.050	.51
.10E-02	.050	.55	.050	.55	.049	.55
.50E-02	.063	.63	.063	.63	.061	.63
.10E-01	.085	.68	.085	.68	.082	.68
.50E-01	.157	.87	.154	.87	.144	.86
.10E+00	.200	1.00	.194	.99	.177	.97
.50E+00	.343	1.43	.322	1.40	.271	1.33
.10E+01	.396	1.69	.365	1.64	.298	1.53
.50E+01	.445	2.38	.390	2.26	.303	2.02
.10E+02	.443	2.68	.378	2.53	.293	2.23
.50E+02	.413	3.38	.334	3.10	.274	2.68
.10E+03	.393	3.66	.315	3.33	.302	2.88
.50E+03	.339	4.25	.284	3.81	.489	3.53
.10E+04	.318	4.47	.312	4.01	.500	3.87
.50E+04	.286	5.00	.494	4.72	.499	4.72
.10E+05	.313	5.21	.501	5.07	.500	5.07
.50E+05	.494	5.87	.499	5.87	.500	5.87
.10E+06	.502	6.22	.500	6.22	.500	6.22
.50E+06	.499	7.02	.500	7.02	.500	7.02
.10E+07	.500	7.37	.500	7.37	.500	7.37
.50E+07	.500	8.17	.500	8.17	.500	8.17

TABLO 8: $L_b=5$ $\omega'=10$ için basınç ve türev değerleri.

t_b	$\lambda' \quad .10E+01$		$.10E+03$		$.10E+04$	
	P_b'	P_b	P_b'	P_b	P_b'	P_b
.10E-07	.018	.01	.018	.01	.018	.01
.50E-07	.041	.06	.041	.06	.041	.06
.10E-06	.045	.09	.045	.09	.045	.09
.50E-06	.049	.17	.049	.17	.048	.17
.10E-05	.049	.20	.049	.20	.048	.20
.50E-05	.050	.28	.049	.28	.047	.28
.10E-04	.050	.32	.048	.31	.046	.31
.50E-04	.050	.40	.047	.39	.042	.38
.10E-03	.049	.43	.046	.42	.039	.41
.50E-03	.049	.51	.042	.49	.034	.46
.10E-02	.048	.54	.039	.52	.032	.49
.50E-02	.058	.62	.036	.58	.029	.54
.10E-01	.075	.67	.039	.61	.032	.56
.50E-01	.120	.83	.050	.68	.062	.63
.10E+00	.141	.92	.061	.72	.081	.68
.50E+00	.188	1.18	.145	.87	.153	.86
.10E+01	.204	1.32	.192	.99	.196	.98
.50E+01	.223	1.66	.342	1.41	.344	1.41
.10E+02	.254	1.83	.404	1.67	.405	1.67
.50E+02	.457	2.40	.477	2.39	.477	2.39
.10E+03	.487	2.73	.488	2.73	.488	2.73
.50E+03	.497	3.52	.498	3.52	.498	3.52
.10E+04	.499	3.87	.499	3.87	.499	3.87
.50E+04	.500	4.72	.500	4.72	.500	4.72
.10E+05	.500	5.07	.500	5.07	.500	5.07
.50E+05	.500	5.87	.500	5.87	.500	5.87
.10E+06	.500	6.22	.500	6.22	.500	6.22
.50E+06	.500	7.02	.500	7.02	.500	7.02
.10E+07	.500	7.37	.500	7.37	.500	7.37
.50E+07	.500	8.17	.500	8.17	.500	8.17

TABLO 9: $L_b=5$ $\omega'=10$ için basınç ve türev değerleri.

t_b	$\lambda' \cdot 10E-02$		$\cdot 10E-01$		$\cdot 10E+00$	
	P_b'	P_b	P_b'	P_b	P_b'	P_b
.10E-07	.018	.01	.018	.01	.018	.01
.50E-07	.041	.06	.041	.06	.041	.06
.10E-06	.045	.09	.045	.09	.045	.09
.50E-06	.049	.17	.049	.17	.049	.17
.10E-05	.049	.20	.049	.20	.049	.20
.50E-05	.050	.28	.050	.28	.050	.28
.10E-04	.050	.32	.050	.32	.050	.32
.50E-04	.050	.40	.050	.40	.050	.40
.10E-03	.050	.43	.050	.43	.049	.43
.50E-03	.050	.51	.050	.51	.049	.51
.10E-02	.050	.55	.049	.55	.048	.54
.50E-02	.063	.63	.061	.63	.058	.62
.10E-01	.085	.68	.082	.68	.075	.67
.50E-01	.154	.87	.144	.86	.120	.83
.10E+00	.194	.99	.177	.97	.141	.92
.50E+00	.322	1.40	.271	1.33	.188	1.18
.10E+01	.365	1.64	.298	1.53	.204	1.32
.50E+01	.390	2.26	.303	2.02	.222	1.66
.10E+02	.378	2.53	.293	2.23	.226	1.82
.50E+02	.334	3.10	.272	2.68	.235	2.19
.10E+03	.315	3.33	.265	2.87	.237	2.35
.50E+03	.282	3.81	.257	3.28	.246	2.74
.10E+04	.273	4.00	.255	3.46	.289	2.92
.50E+04	.260	4.43	.255	3.87	.489	3.57
.10E+05	.257	4.61	.299	4.06	.500	3.91
.50E+05	.257	5.06	.494	4.76	.499	4.76
.10E+06	.300	5.25	.501	5.11	.500	5.11
.50E+06	.494	5.91	.499	5.91	.500	5.91
.10E+07	.501	6.26	.500	6.26	.500	6.26
.50E+07	.499	7.06	.500	7.06	.500	7.06

TABLO 10: $L_b=5$ $\omega'=100$ için basınç ve türev değerleri.

t_b	$\lambda' \quad 10E+01$		$\quad .10E+03$		$\quad .10E+04$	
	P_b'	P_b	P_b'	P_b	P_b'	P_b
.10E-07	.018	.01	.018	.01	.018	.01
.50E-07	.041	.06	.041	.06	.040	.06
.10E-06	.045	.09	.045	.09	.044	.09
.50E-06	.049	.17	.048	.17	.046	.16
.10E-05	.049	.20	.048	.20	.045	.19
.50E-05	.050	.28	.047	.28	.041	.26
.10E-04	.049	.32	.046	.31	.039	.29
.50E-04	.049	.39	.042	.38	.034	.35
.10E-03	.048	.43	.039	.41	.032	.37
.50E-03	.047	.51	.034	.46	.028	.42
.10E-02	.046	.54	.032	.49	.027	.44
.50E-02	.049	.61	.029	.54	.026	.48
.10E-01	.059	.65	.028	.56	.026	.50
.50E-01	.083	.76	.032	.60	.026	.54
.10E+00	.092	.82	.035	.63	.031	.56
.50E+00	.115	.99	.047	.69	.063	.64
.10E+01	.128	1.07	.060	.73	.083	.69
.50E+01	.159	1.30	.149	.89	.158	.88
.10E+02	.172	1.42	.198	1.01	.202	1.00
.50E+02	.201	1.72	.350	1.44	.352	1.44
.10E+03	.244	1.87	.410	1.71	.411	1.71
.50E+03	.459	2.44	.479	2.43	.479	2.43
.10E+04	.488	2.77	.489	2.77	.489	2.77
.50E+04	.497	3.57	.498	3.57	.498	3.57
.10E+05	.499	3.91	.499	3.91	.499	3.91
.50E+05	.500	4.76	.500	4.76	.500	4.76
.10E+06	.500	5.11	.500	5.11	.500	5.11
.50E+06	.500	5.91	.500	5.91	.500	5.91
.10E+07	.500	6.26	.500	6.26	.500	6.26
.50E+07	.500	7.06	.500	7.06	.500	7.06

TABLO 11: $L_v=5$ $\omega'=1000$ için basınç ve türev değerleri.
 λ' .10E-02 .10E-01 .10E+00

t_v	P_v'	P_v	P_v'	P_v	P_v'	P_v
.10E-07	.018	.01	.018	.01	.018	.01
.50E-07	.041	.06	.041	.06	.041	.06
.10E-06	.045	.09	.045	.09	.045	.09
.50E-06	.049	.17	.049	.17	.049	.17
.10E-05	.049	.20	.049	.20	.049	.20
.50E-05	.050	.28	.050	.28	.050	.28
.10E-04	.050	.32	.050	.32	.049	.32
.50E-04	.050	.40	.050	.40	.049	.39
.10E-03	.050	.43	.049	.43	.048	.43
.50E-03	.050	.51	.049	.51	.047	.51
.10E-02	.049	.55	.048	.54	.046	.54
.50E-02	.061	.63	.058	.62	.049	.61
.10E-01	.082	.68	.075	.67	.059	.65
.50E-01	.144	.86	.120	.83	.083	.76
.10E+00	.177	.97	.141	.92	.092	.82
.50E+00	.271	1.33	.188	1.18	.115	.99
.10E+01	.298	1.53	.204	1.32	.128	1.07
.50E+01	.303	2.02	.222	1.66	.159	1.30
.10E+02	.293	2.23	.226	1.82	.172	1.42
.50E+02	.272	2.68	.235	2.19	.199	1.72
.10E+03	.265	2.87	.237	2.35	.209	1.86
.50E+03	.257	3.28	.243	2.74	.226	2.21
.10E+04	.255	3.46	.244	2.91	.231	2.37
.50E+04	.252	3.87	.247	3.30	.243	2.75
.10E+05	.251	4.04	.248	3.48	.288	2.93
.50E+05	.250	4.45	.252	3.88	.490	3.57
.10E+06	.250	4.62	.297	4.06	.500	3.92
.50E+06	.254	5.07	.494	4.77	.499	4.77
.10E+07	.299	5.26	.501	5.11	.500	5.11
.50E+07	.494	5.92	.499	5.92	.500	5.92

TABLO 12: $L_L=5$ $\omega'=1000$ için basınç ve türev değerleri.

t_D	$\lambda' \cdot 10E+01$		$\cdot 10E+03$		$\cdot 10E+04$	
	P_b'	P_L	P_b'	P_b	P_L'	P_L
.10E-07	.018	.01	.018	.01	.017	.01
.50E-07	.041	.06	.040	.06	.037	.06
.10E-06	.045	.09	.044	.09	.040	.08
.50E-06	.049	.17	.046	.16	.040	.15
.10E-05	.049	.20	.045	.19	.039	.18
.50E-05	.049	.28	.041	.26	.034	.23
.10E-04	.048	.31	.039	.29	.032	.26
.50E-04	.047	.39	.034	.35	.028	.31
.10E-03	.046	.42	.032	.37	.027	.32
.50E-03	.042	.49	.028	.42	.026	.37
.10E-02	.039	.52	.027	.44	.026	.39
.50E-02	.036	.58	.026	.48	.025	.43
.10E-01	.039	.61	.026	.50	.025	.44
.50E-01	.050	.68	.026	.54	.025	.48
.10E+00	.056	.71	.026	.56	.025	.50
.50E+00	.072	.82	.031	.61	.026	.54
.10E+01	.081	.87	.034	.63	.031	.56
.50E+01	.107	1.02	.046	.69	.064	.64
.10E+02	.120	1.10	.060	.73	.084	.69
.50E+02	.153	1.32	.149	.89	.158	.88
.10E+03	.168	1.43	.199	1.01	.203	1.00
.50E+03	.199	1.72	.351	1.45	.353	1.44
.10E+04	.243	1.87	.411	1.71	.412	1.71
.50E+04	.459	2.45	.479	2.44	.479	2.44
.10E+05	.488	2.78	.489	2.77	.489	2.77
.50E+05	.497	3.57	.498	3.57	.498	3.57
.10E+06	.499	3.92	.499	3.92	.499	3.92
.50E+06	.500	4.77	.500	4.77	.500	4.77
.10E+07	.500	5.11	.500	5.11	.500	5.11
.50E+07	.500	5.92	.500	5.92	.500	5.92

TABLO 13: $L_L=10$ $\omega'=10$ için basınç ve türev değerleri.

t_L	$\lambda' \quad .10E-02$		$.10E-01$		$.10E+00$	
	P_L'	P_L	P_L'	P_L	P_L'	P_L
.10E-07	.020	.03	.020	.03	.020	.03
.50E-07	.024	.06	.024	.06	.024	.06
.10E-06	.024	.08	.024	.08	.024	.08
.50E-06	.025	.12	.025	.12	.025	.12
.10E-05	.025	.14	.025	.14	.025	.14
.50E-05	.025	.18	.025	.18	.025	.18
.10E-04	.025	.19	.025	.19	.025	.19
.50E-04	.025	.23	.025	.23	.025	.23
.10E-03	.025	.25	.025	.25	.025	.25
.50E-03	.025	.29	.025	.29	.025	.29
.10E-02	.029	.31	.029	.31	.029	.31
.50E-02	.062	.38	.062	.38	.060	.38
.10E-01	.086	.43	.085	.43	.082	.43
.50E-01	.157	.62	.154	.62	.144	.61
.10E+00	.200	.74	.194	.74	.177	.72
.50E+00	.343	1.18	.322	1.15	.271	1.08
.10E+01	.396	1.43	.365	1.39	.298	1.27
.50E+01	.445	2.12	.390	2.01	.303	1.77
.10E+02	.443	2.43	.378	2.28	.293	1.97
.50E+02	.413	3.12	.334	2.85	.274	2.43
.10E+03	.393	3.40	.315	3.08	.302	2.62
.50E+03	.339	3.99	.284	3.55	.489	3.27
.10E+04	.318	4.22	.312	3.76	.500	3.61
.50E+04	.286	4.73	.494	4.44	.499	4.44
.10E+05	.313	4.93	.501	4.79	.500	4.79
.50E+05	.494	5.59	.499	5.59	.500	5.59
.10E+06	.502	5.94	.500	5.94	.500	5.94
.50E+06	.499	6.74	.500	6.74	.500	6.74
.10E+07	.500	7.09	.500	7.09	.500	7.09
.50E+07	.500	7.90	.500	7.90	.500	7.90

TABLO 14: $L_b=10$ $\omega'=10$ için basınç ve türev değerleri.

t_b	$\lambda' \quad .10E+01$		$.10E+03$		$.10E+04$	
	P_b'	P_L	P_b'	P_b	P_b'	P_L
.10E-07	.020	.03	.020	.03	.019	.03
.50E-07	.024	.06	.024	.06	.024	.06
.10E-06	.024	.08	.024	.08	.024	.08
.50E-06	.025	.12	.025	.12	.024	.12
.10E-05	.025	.14	.025	.13	.024	.13
.50E-05	.025	.18	.024	.17	.023	.17
.10E-04	.025	.19	.024	.19	.023	.19
.50E-04	.025	.23	.023	.23	.021	.22
.10E-03	.025	.25	.023	.25	.020	.24
.50E-03	.025	.29	.021	.28	.017	.27
.10E-02	.028	.31	.021	.30	.016	.28
.50E-02	.056	.37	.030	.34	.018	.31
.10E-01	.074	.42	.036	.36	.023	.32
.50E-01	.120	.57	.049	.43	.056	.38
.10E+00	.140	.66	.060	.46	.080	.43
.50E+00	.188	.93	.144	.62	.153	.61
.10E+01	.204	1.07	.192	.74	.196	.73
.50E+01	.223	1.41	.342	1.16	.344	1.16
.10E+02	.254	1.57	.404	1.42	.405	1.42
.50E+02	.457	2.15	.477	2.14	.477	2.14
.10E+03	.487	2.48	.488	2.47	.488	2.47
.50E+03	.497	3.27	.498	3.27	.498	3.27
.10E+04	.499	3.61	.499	3.61	.499	3.61
.50E+04	.500	4.44	.500	4.44	.500	4.44
.10E+05	.500	4.79	.500	4.79	.500	4.79
.50E+05	.500	5.59	.500	5.59	.500	5.59
.10E+06	.500	5.94	.500	5.94	.500	5.94
.50E+06	.500	6.74	.500	6.74	.500	6.74
.10E+07	.500	7.09	.500	7.09	.500	7.09
.50E+07	.500	7.90	.500	7.90	.500	7.90

TABLO 15: $L_b=100$ $\omega'=10$ için basınç ve türev değerleri.

t_b	$\lambda' \quad .10E-02$		$.10E-01$		$.10E+00$	
	P_b'	P_b	P_b'	P_b	P_b'	P_b
.10E-07	.020	.03	.020	.03	.020	.03
.50E-07	.024	.06	.024	.06	.024	.06
.10E-06	.024	.08	.024	.08	.024	.08
.50E-06	.025	.12	.025	.12	.025	.12
.10E-05	.025	.14	.025	.14	.025	.14
.50E-05	.025	.18	.025	.18	.025	.18
.10E-04	.025	.19	.025	.19	.025	.19
.50E-04	.025	.23	.025	.23	.025	.23
.10E-03	.025	.25	.025	.25	.025	.25
.50E-03	.025	.29	.025	.29	.025	.29
.10E-02	.029	.31	.029	.31	.028	.31
.50E-02	.062	.38	.060	.38	.056	.37
.10E-01	.085	.43	.082	.43	.074	.42
.50E-01	.154	.62	.144	.61	.120	.57
.10E+00	.194	.74	.177	.72	.140	.66
.50E+00	.322	1.15	.271	1.08	.188	.93
.10E+01	.365	1.39	.298	1.27	.204	1.07
.50E+01	.390	2.01	.303	1.77	.222	1.41
.10E+02	.378	2.28	.293	1.97	.226	1.57
.50E+02	.334	2.85	.272	2.43	.235	1.94
.10E+03	.315	3.08	.265	2.61	.237	2.10
.50E+03	.282	3.55	.257	3.03	.246	2.49
.10E+04	.273	3.75	.254	3.21	.289	2.67
.50E+04	.260	4.17	.255	3.62	.490	3.31
.10E+05	.257	4.35	.299	3.80	.500	3.66
.50E+05	.257	4.79	.494	4.49	.499	4.48
.10E+06	.300	4.98	.501	4.83	.500	4.83
.50E+06	.494	5.64	.499	5.64	.500	5.64
.10E+07	.501	5.98	.500	5.98	.500	5.98
.50E+07	.499	6.79	.500	6.79	.500	6.79

TABLO 16: $L_0=100$ $\omega'=10$ için basınç ve türev değerleri.

t_0	$\lambda' \quad .10E+01$		$.10E+03$		$.10E+04$	
	P_0'	P_0	P_0'	P_0	P_0'	P_0
.10E-07	.020	.03	.019	.03	.019	.03
.50E-07	.024	.06	.024	.06	.023	.06
.10E-06	.024	.08	.024	.08	.024	.08
.50E-06	.025	.12	.024	.12	.023	.11
.10E-05	.025	.14	.024	.13	.023	.13
.50E-05	.025	.18	.023	.17	.021	.17
.10E-04	.025	.19	.023	.19	.020	.18
.50E-04	.024	.23	.021	.22	.017	.21
.10E-03	.024	.25	.020	.24	.016	.22
.50E-03	.024	.29	.017	.27	.014	.24
.10E-02	.026	.30	.016	.28	.014	.25
.50E-02	.046	.36	.018	.31	.013	.28
.10E-01	.058	.40	.020	.32	.014	.29
.50E-01	.082	.51	.028	.36	.017	.31
.10E+00	.091	.57	.032	.38	.022	.32
.50E+00	.115	.74	.045	.44	.058	.38
.10E+01	.128	.82	.059	.48	.083	.43
.50E+01	.159	1.05	.148	.63	.158	.62
.10E+02	.172	1.16	.198	.75	.202	.75
.50E+02	.201	1.46	.350	1.19	.352	1.19
.10E+03	.244	1.61	.410	1.45	.411	1.45
.50E+03	.459	2.19	.479	2.18	.479	2.18
.10E+04	.488	2.52	.489	2.52	.489	2.52
.50E+04	.497	3.31	.498	3.31	.498	3.31
.10E+05	.499	3.66	.499	3.66	.499	3.66
.50E+05	.500	4.48	.500	4.48	.500	4.48
.10E+06	.500	4.83	.500	4.83	.500	4.83
.50E+06	.500	5.64	.500	5.64	.500	5.64
.10E+07	.500	5.98	.500	5.98	.500	5.98
.50E+07	.500	6.79	.500	6.79	.000	.00

TABLO 17: $L_b=10$ $\omega'=1000$ için basınç ve türev değerleri.

λ'	.10E-02		.10E-01		.10E+00	
t_b	P_b'	P_b	P_b'	P_b	P_b'	P_b
.10E-07	.020	.03	.020	.03	.020	.03
.50E-07	.024	.06	.024	.06	.024	.06
.10E-06	.024	.08	.024	.08	.024	.08
.50E-06	.025	.12	.025	.12	.025	.12
.10E-05	.025	.14	.025	.14	.025	.14
.50E-05	.025	.18	.025	.18	.025	.18
.10E-04	.025	.19	.025	.19	.025	.19
.50E-04	.025	.23	.025	.23	.024	.23
.10E-03	.025	.25	.025	.25	.024	.25
.50E-03	.025	.29	.025	.29	.024	.29
.10E-02	.029	.31	.028	.31	.026	.30
.50E-02	.060	.38	.056	.37	.046	.36
.10E-01	.082	.43	.074	.42	.058	.40
.50E-01	.144	.61	.120	.57	.082	.51
.10E+00	.177	.72	.140	.66	.091	.57
.50E+00	.271	1.08	.188	.93	.115	.74
.10E+01	.298	1.27	.204	1.07	.128	.82
.50E+01	.303	1.77	.222	1.41	.159	1.05
.10E+02	.293	1.97	.226	1.57	.172	1.16
.50E+02	.272	2.43	.235	1.94	.199	1.46
.10E+03	.265	2.61	.237	2.10	.209	1.60
.50E+03	.257	3.03	.243	2.49	.226	1.96
.10E+04	.254	3.21	.244	2.66	.231	2.11
.50E+04	.252	3.62	.247	3.05	.243	2.49
.10E+05	.251	3.79	.248	3.22	.288	2.67
.50E+05	.250	4.19	.252	3.62	.490	3.32
.10E+06	.250	4.37	.297	3.81	.500	3.66
.50E+06	.254	4.79	.494	4.49	.499	4.49
.10E+07	.299	4.98	.501	4.84	.500	4.84
.50E+07	.494	5.64	.499	5.64	.500	5.64

TABLO 18: $L_b=10$ $\omega'=1000$ için basınç ve türev değerleri.

λ'	.10E+01		.10E+03		.10E+04	
t_b	P_L'	P_L	P_L'	P_L	P_L'	P_L
.10E-07	.020	.03	.019	.03	.019	.03
.50E-07	.024	.06	.023	.06	.022	.06
.10E-06	.024	.08	.024	.08	.022	.07
.50E-06	.025	.12	.023	.11	.021	.11
.10E-05	.025	.13	.023	.13	.020	.12
.50E-05	.024	.17	.021	.17	.017	.15
.10E-04	.024	.19	.020	.18	.016	.16
.50E-04	.023	.23	.017	.21	.014	.19
.10E-03	.023	.25	.016	.22	.014	.20
.50E-03	.021	.28	.014	.24	.013	.22
.10E-02	.021	.30	.014	.25	.013	.23
.50E-02	.030	.31	.013	.28	.013	.25
.10E-01	.036	.36	.014	.29	.013	.26
.50E-01	.049	.43	.017	.31	.013	.28
.10E+00	.055	.46	.019	.32	.014	.29
.50E+00	.072	.56	.027	.36	.017	.31
.10E+01	.081	.62	.032	.38	.022	.32
.50E+01	.106	.77	.045	.44	.059	.38
.10E+02	.120	.81	.059	.48	.083	.43
.50E+02	.153	1.06	.149	.64	.158	.62
.10E+03	.168	1.17	.199	.76	.203	.75
.50E+03	.199	1.47	.351	1.19	.353	1.19
.10E+04	.243	1.62	.411	1.46	.412	1.46
.50E+04	.459	2.19	.479	2.18	.479	2.18
.10E+05	.488	2.52	.489	2.52	.489	2.52
.50E+05	.497	3.32	.498	3.32	.498	3.32
.10E+06	.499	3.66	.499	3.66	.499	3.66
.50E+06	.500	4.49	.500	4.49	.500	4.49
.10E+07	.500	4.84	.500	4.84	.500	4.84
.50E+07	.500	5.64	.500	5.64	.500	5.64

TABLO 19: $L_b=100$ $\omega'=10$ için basınç ve türev değerleri.

	$\lambda' \quad .10E-02$		$.10E-01$		$.10E+00$	
t_b	P_b'	P_b	P_b'	P_b	P_b'	P_b
.10E-07	.002	.01	.002	.01	.002	.01
.50E-07	.002	.02	.002	.02	.002	.02
.10E-06	.002	.02	.002	.02	.002	.02
.50E-06	.002	.02	.002	.02	.002	.02
.10E-05	.002	.03	.002	.03	.002	.03
.50E-05	.003	.03	.003	.03	.003	.03
.10E-04	.003	.03	.003	.03	.003	.03
.50E-04	.006	.04	.006	.04	.006	.04
.10E-03	.009	.04	.009	.04	.009	.04
.50E-03	.020	.06	.020	.06	.020	.06
.10E-02	.028	.08	.028	.08	.028	.08
.50E-02	.062	.15	.062	.15	.060	.15
.10E-01	.086	.20	.085	.20	.082	.20
.50E-01	.157	.39	.154	.39	.144	.38
.10E+00	.200	.52	.194	.51	.177	.49
.50E+00	.343	.95	.322	.92	.271	.85
.10E+01	.396	1.21	.365	1.16	.298	1.05
.50E+01	.445	1.89	.390	1.78	.303	1.54
.10E+02	.443	2.20	.378	2.05	.293	1.74
.50E+02	.413	2.90	.334	2.62	.274	2.20
.10E+03	.393	3.18	.315	2.85	.302	2.39
.50E+03	.339	3.76	.284	3.33	.489	3.04
.10E+04	.318	3.99	.312	3.53	.500	3.39
.50E+04	.286	4.48	.494	4.19	.499	4.19
.10E+05	.313	4.68	.501	4.54	.500	4.54
.50E+05	.494	5.35	.499	5.34	.500	5.34
.10E+06	.502	5.69	.500	5.69	.500	5.69
.50E+06	.499	6.50	.500	6.50	.500	6.50
.10E+07	.500	6.84	.500	6.84	.500	6.84
.50E+07	.500	7.65	.500	7.65	.500	7.65

TABLO 20: $L_b=100$ $\omega'=10$ için basınç ve türev değerleri.

	$\lambda' \quad .10E+01$		$.10E+03$		$.10E+04$	
t_b	P_b'	P_b	P_b'	P_b	P_b'	P_b
.10E-07	.002	.01	.002	.01	.002	.01
.50E-07	.002	.02	.002	.02	.002	.02
.10E-06	.002	.02	.002	.02	.002	.02
.50E-06	.002	.02	.002	.02	.002	.02
.10E-05	.002	.03	.002	.02	.002	.02
.50E-05	.003	.03	.002	.03	.002	.03
.10E-04	.003	.03	.003	.03	.003	.03
.50E-04	.006	.04	.006	.04	.005	.04
.10E-03	.009	.04	.008	.04	.006	.04
.50E-03	.019	.06	.015	.06	.009	.05
.10E-02	.027	.08	.019	.07	.011	.06
.50E-02	.056	.14	.030	.11	.016	.08
.10E-01	.074	.19	.035	.13	.021	.09
.50E-01	.120	.35	.049	.20	.056	.15
.10E+00	.140	.44	.060	.24	.080	.20
.50E+00	.188	.70	.144	.39	.153	.38
.10E+01	.204	.84	.192	.51	.196	.50
.50E+01	.223	1.18	.342	.93	.344	.93
.10E+02	.254	1.34	.404	1.19	.405	1.19
.50E+02	.457	1.92	.477	1.91	.477	1.91
.10E+03	.487	2.25	.488	2.25	.488	2.25
.50E+03	.497	3.04	.498	3.04	.498	3.04
.10E+04	.499	3.39	.499	3.39	.499	3.39
.50E+04	.500	4.19	.500	4.19	.500	4.19
.10E+05	.500	4.54	.500	4.54	.500	4.54
.50E+05	.500	5.34	.500	5.34	.500	5.34
.10E+06	.500	5.69	.500	5.69	.500	5.69
.50E+06	.500	6.50	.500	6.50	.500	6.50
.10E+07	.500	6.84	.500	6.84	.500	6.84
.50E+07	.500	7.65	.500	7.65	.500	7.65

TABLO 21: $L_L=100$ $\omega'=100$ için basınç ve türev değerleri.

	$\lambda' \quad .10E-02$		$.10E-01$		$.10E+00$	
t_b	P_b'	P_b	P_b'	P_b	P_b'	P_b
.10E-07	.002	.01	.002	.01	.002	.01
.50E-07	.002	.02	.002	.02	.002	.02
.10E-06	.002	.02	.002	.02	.002	.02
.50E-06	.002	.02	.002	.02	.002	.02
.10E-05	.002	.03	.002	.03	.002	.03
.50E-05	.003	.03	.003	.03	.003	.03
.10E-04	.003	.03	.003	.03	.003	.03
.50E-04	.006	.04	.006	.04	.006	.04
.10E-03	.009	.04	.009	.04	.009	.04
.50E-03	.020	.06	.020	.06	.019	.06
.10E-02	.028	.08	.028	.08	.027	.08
.50E-02	.062	.15	.060	.15	.056	.14
.10E-01	.085	.20	.082	.20	.074	.19
.50E-01	.154	.39	.144	.38	.120	.35
.10E+00	.194	.51	.177	.49	.140	.44
.50E+00	.322	.92	.271	.85	.188	.70
.10E+01	.365	1.16	.298	1.05	.204	.84
.50E+01	.390	1.78	.303	1.54	.222	1.18
.10E+02	.378	2.05	.293	1.74	.226	1.34
.50E+02	.334	2.62	.272	2.20	.235	1.71
.10E+03	.315	2.85	.265	2.38	.237	1.87
.50E+03	.282	3.33	.257	2.80	.246	2.26
.10E+04	.273	3.52	.254	2.98	.289	2.44
.50E+04	.260	3.95	.255	3.39	.489	3.09
.10E+05	.257	4.12	.299	3.58	.500	3.43
.50E+05	.257	4.54	.494	4.24	.499	4.24
.10E+06	.300	4.73	.501	4.58	.500	4.58
.50E+06	.494	5.39	.499	5.39	.500	5.39
.10E+07	.501	5.73	.500	5.73	.500	5.73
.50E+07	.499	6.54	.500	6.54	.500	6.54

TABLO 22: $L_L=100$ $\omega'=100$ için basınç ve türev değerleri.

λ'	.10E+01		.10E+03		.10E+04	
t_L	P_L'	P_L	P_L'	P_L	P_L'	P_L
.10E-07	.002	.01	.002	.01	.002	.01
.50E-07	.002	.02	.002	.02	.002	.02
.10E-06	.002	.02	.002	.02	.002	.02
.50E-06	.002	.02	.002	.02	.002	.02
.10E-05	.002	.03	.002	.02	.002	.02
.50E-05	.003	.03	.002	.03	.002	.03
.10E-04	.003	.03	.003	.03	.002	.03
.50E-04	.006	.04	.005	.04	.003	.03
.10E-03	.008	.04	.006	.04	.004	.04
.50E-03	.018	.06	.009	.05	.005	.04
.10E-02	.024	.08	.011	.06	.006	.05
.50E-02	.046	.13	.016	.08	.009	.06
.10E-01	.058	.17	.019	.09	.010	.07
.50E-01	.082	.28	.027	.13	.015	.09
.10E+00	.091	.34	.032	.15	.021	.10
.50E+00	.115	.51	.045	.21	.058	.16
.10E+01	.128	.59	.059	.25	.083	.20
.50E+01	.159	.82	.148	.41	.158	.39
.10E+02	.172	.94	.198	.53	.202	.52
.50E+02	.201	1.24	.350	.96	.352	.96
.10E+03	.244	1.39	.410	1.23	.411	1.22
.50E+03	.459	1.96	.479	1.95	.479	1.95
.10E+04	.488	2.29	.489	2.29	.489	2.29
.50E+04	.497	3.08	.498	3.08	.498	3.08
.10E+05	.499	3.43	.499	3.43	.499	3.43
.50E+05	.500	4.24	.500	4.24	.500	4.24
.10E+06	.500	4.58	.500	4.58	.500	4.58
.50E+06	.500	5.39	.500	5.39	.500	5.39
.10E+07	.500	5.73	.500	5.73	.500	5.73
.50E+07	.500	6.54	.500	6.54	.500	6.54

TABLO 23: $L_v=100$ $\omega'=1000$ için basınç ve türev değerleri.

	$\lambda' \quad .10E-02$		$.10E-01$		$.10E+00$	
t_v	P_v'	P_v	P_v'	P_v	P_v'	P_v
.10E-07	.002	.01	.002	.01	.002	.01
.50E-07	.002	.02	.002	.02	.002	.02
.10E-06	.002	.02	.002	.02	.002	.02
.50E-06	.002	.02	.002	.02	.002	.02
.10E-05	.002	.03	.002	.03	.002	.03
.50E-05	.003	.03	.003	.03	.003	.03
.10E-04	.003	.03	.003	.03	.003	.03
.50E-04	.006	.04	.006	.04	.006	.04
.10E-03	.009	.04	.009	.04	.008	.04
.50E-03	.020	.06	.019	.06	.018	.06
.10E-02	.028	.08	.027	.08	.024	.08
.50E-02	.060	.15	.056	.14	.046	.13
.10E-01	.082	.20	.074	.19	.058	.17
.50E-01	.144	.38	.120	.35	.082	.28
.10E+00	.177	.49	.140	.44	.091	.34
.50E+00	.271	.85	.188	.70	.115	.51
.10E+01	.298	1.05	.204	.84	.128	.59
.50E+01	.303	1.54	.222	1.18	.159	.82
.10E+02	.293	1.74	.226	1.34	.172	.94
.50E+02	.272	2.20	.235	1.71	.199	1.24
.10E+03	.265	2.38	.237	1.87	.209	1.38
.50E+03	.257	2.80	.243	2.26	.226	1.73
.10E+04	.254	2.98	.244	2.43	.231	1.89
.50E+04	.252	3.39	.247	2.82	.243	2.27
.10E+05	.251	3.56	.248	2.99	.288	2.14
.50E+05	.250	3.97	.252	3.39	.400	3.09
.10E+06	.250	4.14	.297	3.58	.500	3.13
.50E+06	.254	4.54	.494	4.24	.499	4.24
.10E+07	.299	4.73	.501	4.59	.500	4.59
.50E+07	.494	5.39	.499	5.39	.500	5.39

TABLO 24: $L_t=100$ $\omega'=1000$ için basınç ve türev değerleri.

λ'	.10E+01		.10E+03		.10E+04	
t_L	P_L'	P_L	P_L'	P_L	P_L'	P_L
.10E-07	.002	.01	.002	.01	.002	.01
.50E-07	.002	.02	.002	.02	.002	.02
.10E-06	.002	.02	.002	.02	.002	.02
.50E-06	.002	.02	.002	.02	.002	.02
.10E-05	.002	.02	.002	.02	.002	.02
.50E-05	.002	.03	.002	.03	.002	.03
.10E-04	.003	.03	.002	.03	.002	.03
.50E-04	.006	.04	.003	.03	.002	.03
.10E-03	.008	.04	.004	.04	.002	.03
.50E-03	.015	.06	.005	.04	.003	.04
.10E-02	.019	.07	.006	.05	.003	.04
.50E-02	.030	.11	.009	.06	.005	.04
.10E-01	.035	.13	.010	.07	.006	.05
.50E-01	.048	.20	.015	.09	.009	.06
.10E+00	.055	.23	.018	.10	.010	.07
.50E+00	.071	.34	.027	.13	.015	.09
.10E+01	.080	.39	.031	.15	.021	.10
.50E+01	.106	.54	.045	.21	.058	.16
.10E+02	.120	.62	.059	.25	.083	.21
.50E+02	.153	.84	.149	.41	.158	.40
.10E+03	.168	.95	.199	.53	.203	.52
.50E+03	.199	1.24	.351	.96	.353	.96
.10E+04	.243	1.39	.411	1.23	.412	1.23
.50E+04	.459	1.96	.479	1.96	.479	1.96
.10E+05	.488	2.29	.489	2.29	.489	2.29
.50E+05	.497	3.09	.498	3.09	.498	3.09
.10E+06	.499	3.43	.499	3.43	.499	3.43
.50E+06	.500	4.24	.500	4.24	.500	4.24
.10E+07	.500	4.59	.500	4.59	.500	4.59
.50E+07	.500	5.39	.500	5.39	.500	5.39

ÖZGEÇMİŞ

16.11.1966 tarihinde Ankara'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Giresun'da tamamladı. 1983 yılında Giresun Lisesinden mezun oldu. 1988 yılında İTÜ Petrol Mühendisliği Bölümünü bitirdi. Aynı yıl İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü'nün Petrol programında yüksek lisans öğrenimine başladı.