

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ NÜKLEER ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**COBRA KODU İLE BAZI PWR  
PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ**

**T.C. FÜSSEKİNGİTİN İNİMLÜ  
DOKÜMANTASPOB DEBİEZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Nükleer Mühendis Ahmet EGE  
(304.99.0054.011)**

104063

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 11 Haziran 2001  
Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Haziran 2001**

**Tez Danışmanı :**

**Prof.Dr. Şarman GENÇAY**

**Diğer Jüri Üyeleri**

**Prof.Dr. Melih GEÇKİNLİ**

**Yrd.Doç.Dr. Murat AYDIN**

*Şarman Gençay*  
*Melih Geçkinli*  
*Murat Aydın*

**HAZİRAN 2001**

## ÖNSÖZ

COBRA bilgisayar kodu özellikle basınçlı su reaktörlerinin termal hidrolik parametrelerinin incelenebildiği önemli bir termal-hidrolik koddur. Burada sunulan çalışmada, COBRA kodu kullanılarak bir basınçlı su reaktörünün hem normal operasyondaki hem de kanal tıkanması durumundaki çeşitli parametreleri incelenmiştir.

Çalışmanın büyük bir kısmında Ankara'da bulunmama karşın yoğun temposunda çalışmalarında bana her zaman yardımcı ve destek olan sayın hocam Prof. Dr. Şarman Gençay'a özellikle ve öncelikle sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. Ayrıca; COBRA kodu hakkında tüm bilgisini bana sunarak, bıkmadan, değerli zamanını paylaşan Boğaziçi Üniversitesi araştırma görevlisi, değerli arkadaşım sayın Bülent Alpay'a ve COBRA kodu ile örnek inputların sağlanmasında büyük emekleri olan Hacettepe Üniversitesi araştırma görevlisi değerli dostum sayın Selim Kuran'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Her zaman yanımda olan ve hayattaki tek desteğim annem ve kardeşime ise her konudaki yardımları ve hoşgörülerini için ayrıca teşekkürü bir borç bilirim.

**Haziran 2001**

**Ahmet EGE**

## İÇİNDEKİLER

|                                                                 |             |
|-----------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>TABLO LİSTESİ</b>                                            | <b>iv</b>   |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ</b>                                            | <b>v</b>    |
| <b>SEMBOL LİSTESİ</b>                                           | <b>vi</b>   |
| <b>ÖZET</b>                                                     | <b>viii</b> |
| <b>SUMMARY</b>                                                  | <b>ix</b>   |
| <b>1. GİRİŞ</b>                                                 | <b>1</b>    |
| 1.1. Genel Bilgi ve Çalışmanın Amacı                            | 1           |
| <b>2. ALTKANAL ANALİZİ</b>                                      | <b>5</b>    |
| 2.1. Giriş                                                      | 5           |
| 2.2. Kontrol Hacmi Seçimi                                       | 6           |
| 2.3. Altkanal Analizindeki Terimlerin Anlamları                 | 7           |
| <b>3. COBRA-IV-I PC VERSİYONU TANITIMI</b>                      | <b>13</b>   |
| 3.1. COBRA Bilgisayar Kodu                                      | 13          |
| 3.2. Temel Kabuller ve COBRA Isı İletim Modelinin Tanımlanması  | 13          |
| 3.3. Temel Kabuller ve COBRA Konveksiyon Modelinin Tanımlanması | 14          |
| 3.4. Süreklilik Denklemi                                        | 16          |
| 3.5. Enerji Korunum Denklemi                                    | 17          |
| 3.6. Eksenel Momentum Korunum Denklemi                          | 22          |
| 3.7. Yanal Momentum Denklemi                                    | 24          |
| 3.8. Akış ve Enerji Taşınımı İçin Nümerik Çözüm Algoritmaları   | 28          |
| 3.8.1. Temel Denklemler                                         | 28          |
| 3.8.2. Kapalı Nümerik Çözüm                                     | 29          |
| 3.8.3. Açık Nümerik Çözüm                                       | 30          |
| <b>4. ELE ALINAN PROBLEMLER</b>                                 | <b>32</b>   |
| 4.1. Normal Operasyon Koşulları                                 | 32          |
| 4.2. Akış Kanalında Tıkanma                                     | 37          |
| <b>5. COBRA-IV-I PC VERSİYONU SONUÇLARI VE YORUM</b>            | <b>39</b>   |
| 5.1. Sonuçlar                                                   | 39          |
| 5.2. Yorum                                                      | 42          |
| <b>KAYNAKLAR</b>                                                | <b>44</b>   |
| <b>EK-A COBRA Kodunun Kart Tanımlamaları</b>                    | <b>45</b>   |
| <b>EK-B Grafikler</b>                                           | <b>69</b>   |
| <b>ÖZGEÇMİŞ</b>                                                 | <b>86</b>   |

## TABLO LİSTESİ

|                                                                                                   | <u>Sayfa No</u> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| <b>Tablo 4.1.</b> Sequoyah nükleer reaktörünün tipik termodinamik çevrim karakteristikleri.....   | 31              |
| <b>Tablo 4.2.</b> Sequoyah nükleer reaktörünün tipik yakıt karakteristikleri.....                 | 32              |
| <b>Tablo 4.3.</b> Sequoyah nükleer reaktörünün tipik kor termal performans karakteristikleri..... | 34              |



## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                                           | <u>Sayfa No</u> |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Şekil 1.1 : Tipik bir basınçlı su reaktörü.....                           | 1               |
| Şekil 2.1 : Altkanal tanımlaması için seçenekler.....                     | 6               |
| Şekil 2.2 : Altkanal kontrol hacmi ile rektör koru arasındaki ilişki..... | 7               |
| Şekil 2.3 : Yanal momentum denklemi için kontrol hacmi.....               | 8               |
| Şekil 3.1 : Altkanallardaki kütle korunumu.....                           | 17              |
| Şekil 3.2 : Enerji korunumu kontrol hacmi.....                            | 19              |
| Şekil 3.3 : Eksenel momentum denklemi kontrol hacmi.....                  | 22              |
| Şekil 3.4 : Yanal momentum denklemi için kontrol hacmi.....               | 26              |
| Şekil 3.5 : Kütle, enerji ve momentum için korunum hücreleri.....         | 31              |
| Şekil 4.1 : Akış kanalı tıkanmasında kesit alanı değişimi.....            | 36              |
| Şekil 5.1 : COBRA kodunda çalışmada kullanılan yakıt modeli.....          | 37              |

## SEMBOL LİSTESİ

|                                 |                                                                                     |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| $A_{fi}$                        | : i. altkanalın toplam eksenel kesit alanı                                          |
| $C_{ij}$                        | : Termal iletkenlik katsayısı                                                       |
| $D_i$                           | : Çap                                                                               |
| $F_i$                           | : Sürtünme kuvveti kayıpları                                                        |
| $F_{ij}$                        | : Yanal akış nedeniyle oluşan sürtünme ve form basınç kayıp terimi                  |
| $f_i$                           | : Sürtünme faktörü                                                                  |
| $f_T$                           | : Momentum türbülans faktörü                                                        |
| $g$                             | : Yerçekim ivmesi sabiti                                                            |
| $h$                             | : Akışkan entalpisi                                                                 |
| $h^*$                           | : Saptırıcı yanal akış ile taşınan entalpi                                          |
| $h_{fg}$                        | : Gizli buharlaşma ısısı                                                            |
| $h_x^*$                         | : x-ekseni doğrultusunda saptırıcı yanal akış ile taşınan etkin entalpi             |
| $h_y^*$                         | : y-ekseni doğrultusunda saptırıcı yanal akış ile taşınan etkin entalpi             |
| $K$                             | : Yanal akış direnç faktörü                                                         |
| $l$                             | : Yarık uzunluğu                                                                    |
| $\dot{m}$                       | : Eksenel kütle akış debisi                                                         |
| $p$                             | : Basınç                                                                            |
| $q'_i$                          | : Birim uzunlukta eklenen ısı miktarı                                               |
| $(q''s)'_{i \leftrightarrow j}$ | : Yarık boyunca birim uzunlukta, birim zamanda türbülans ile net enerji değişimi    |
| $Re$                            | : Reynolds sayısı                                                                   |
| $S_{ij}$                        | : Yanal yönde akışkan için mümkün olan minimum akış alanı                           |
| $s$                             | : Yakıt çubukları arası mesafe                                                      |
| $s_{ij}$                        | : Komşu yakıt çubukları arasındaki mesafe                                           |
| $s_{ij}^x$                      | : x-ekseni yönündeki komşu yakıt çubukları arasındaki mesafe                        |
| $s_{ij}^y$                      | : y-ekseni yönündeki komşu yakıt çubukları arasındaki mesafe                        |
| $U_i$                           | : Toplam iç enerji                                                                  |
| $U''$                           | : Etkin entalpi taşınım hızı                                                        |
| $U, u$                          | : Özgül iç enerji                                                                   |
| $u_i$                           | : i. kanalda eksenel hız (COBRA-denklemlerinde)                                     |
| $u^*$                           | : Yanal kontrol hacminde etkin eksenel hız (COBRA-denklemlerinde)                   |
| $V'_i$                          | : Özgül hacim                                                                       |
| $v$                             | : COBRA-denklemlerinde yanal hız                                                    |
| $v_x$                           | : x-ekseni doğrultusundaki eksenel hız                                              |
| $v_y$                           | : y-ekseni doğrultusundaki eksenel hız (COBRA-denklemlerinde v)                     |
| $v_{zi}$                        | : z-ekseni doğrultusunda i. altkanaldaki akışkan hızı (COBRA-denklemlerinde $u_i$ ) |
| $v_{zj}$                        | : z-ekseni doğrultusunda j. altkanaldaki akışkan hızı                               |
| $v_z^*$                         | : yanal kontrol hacminde etkin eksenel hız (COBRA-denklemlerinde $u^*$ )            |

|               |                                                                       |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------|
| $W_{ij}$      | : Saptırıcı yanal debi                                                |
| $W_{ij}$      | : Türbülans kütleel debisi                                            |
| $W_{ij}^D$    | : Türbülanslı değişim                                                 |
| $W_{ij}^M$    | : Momentum için türbülanslı değişim                                   |
| $W_{ij}^{*M}$ | : Viskoz etkilerin hesaba katıldığı momentum için türbülanslı değişim |
| $W_{ij}^{*H}$ | : Viskoz etkilerin hesaba katıldığı enerji için türbülanslı değişim   |
| $W_{ij}^H$    | : Enerji için türbülanslı değişim                                     |
| $\Delta z$    | : Eksenel birim boyutu                                                |

### İndisler

|             |                                                 |
|-------------|-------------------------------------------------|
| $f$         | : sıvı                                          |
| $g$         | : buhar                                         |
| $ij$        | : i.altkanaldan j.altkanala olan akış           |
| $i \quad j$ | : i.altkanal ile j.altkanal arasındaki net akış |

### Yunan Harfleri

|                                                  |                                                                                    |
|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| $\phi_1$                                         | : İki fazlı akış sürtünme çarpanı                                                  |
| $\rho$                                           | : Yoğunluk                                                                         |
| $\rho^*$                                         | : Saptırıcı yanal akış yoğunluğu                                                   |
| $\rho_1''$                                       | : Entalpi taşınımı için etkin yoğunluk                                             |
| $\overline{(\tau\omega)'}_{i \leftrightarrow j}$ | : Yarık boyunca birim uzunlukta, birim zamanda türbülans ile net momentum değişimi |
| $\psi$                                           | : Enerji taşınımı için düzeltme fonksiyonu                                         |

### Operatörler

|           |                                                    |
|-----------|----------------------------------------------------|
| $\bar{A}$ | : A büyüklüğünün zaman üzerinden alınan ortalaması |
| $\{x\}$   | : x büyüklüğünün alan ortalaması                   |
| $\Delta$  | : Fark işlemi                                      |

## COBRA KODU İLE BAZI PWR PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

### ÖZET

Yapılan çalışmada Westinghouse (Sequoyah) firmasının üretmiş olduğu bir basınçlı su reaktörünün (PWR) COBRA-IV-I bilgisayar kodu ile akışkan giriş-çıkış sıcaklıkları, zarf sıcaklığı, yakıt çubuğu merkez sıcaklığı, akışkan yoğunluk değişimi ve akışkan hız değişimi parametreleri gibi başlıca termal hidrolik özellikleri incelenmiş ve akış kanalının tıkanması durumunda bu parametrelerin bu değişimden nasıl etkilendiği araştırılmıştır.

Westinghouse firmasının ürettiği sözkonusu basınçlı su reaktörünün sistem basıncı, akışkan giriş sıcaklığı, kor akış hızı, yakıt çubuk geometrisi, boyutları ve malzeme özellikleri COBRA-IV-I koduna input olarak girilmiş ve bu koşullara ilişkin kodun elde ettiği sonuçlara varılmıştır. Reaktörün soğutulmasında kullanılan akışkan ile ilgili parametreler standart bir reaktörün parametreleri olarak seçilmiş ve bu değerler kullanılarak elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir. Burada reaktörün standart çalışma koşulları altındaki pekçok önemli parametresi incelenmiş ve bunlar ayrıntılı olarak grafiklere aktarılmıştır. Normal çalışma şartları altında, hem ortalama bir kanal hem de en sıcak kanal için parametreler elde edilmiştir, bu şekilde sözkonusu kanallar arasındaki parametrelerin de karşılaştırılması yapılabilmektedir. Kanal tıkanması durumunda akışın, kanalın normal kesit alanının en fazla %30'u kadar olması öngörülmüştür bunun esas nedeni COBRA bilgisayar kodunun %30'dan fazla tıkanma durumunda doğru sonuçlar vermemesidir. Yapılan çalışmanın önemli bir amacı ise tezin sonunda Ek-A'da verilen kodun tanımlamasıdır. Bu tanımlamada kodun orjinal tanımlamasında yeralan herbir kartın ayrı ayrı açıklaması, kodun kullanım formatı ve kodda kullanılan ampirik korelasyonların ve formüllerin tanıtımı yapılmıştır.

COBRA bilgisayar kodundan elde edilen sonuçlar normal operasyon koşullarının anlaşılmasına olanak tanımış ve bu şekilde akış kanalının tıkanması durumu hakkında yorum yapılabilmesi imkanını sağlamıştır. Buna göre, akış kanalın tıkanması durumunda hem akışkan sıcaklığı hem de yakıt zarf sıcaklıkları belirgin bir oranda artmış buna karşın nükleer güvenlik açısından endişe verici değerlere ulaşmamıştır. Akış kanalının tıkanması durumu kendini en belirgin biçimde akış hızında gösterirken yakıt merkez sıcaklığı bu durmudan en az etkilenen parametre olmuştur.

## **AN EXAMINATION OF SOME PARAMETERS OF PWR VIA COBRA CODE**

### **SUMMARY**

In this study, an analysis of Westinghouse (Sequoyah) manufactured PWR parameters including, coolant inlet & outlet temperature, cladding temperature, fuel center temperature, coolant density variation and coolant velocity variation has been conducted via COBRA-IV-I computer code and an investigation is carried out how these parameters are effected in the case of channel blockage.

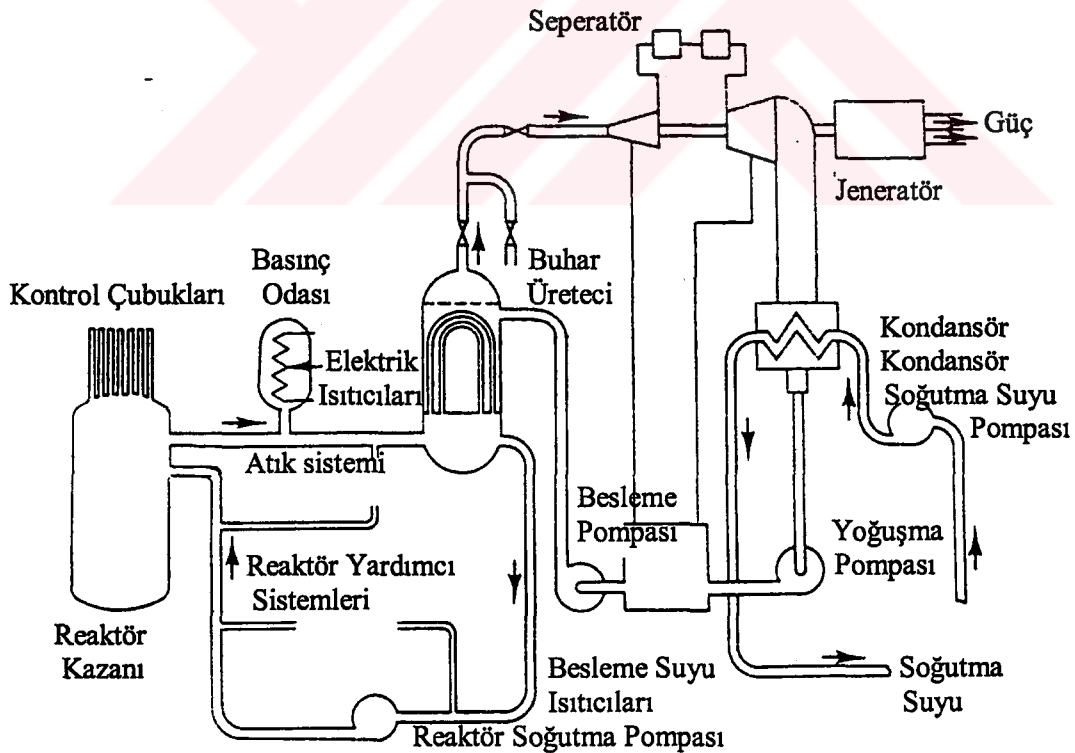
System pressure, coolant inlet temperature, core mass flow rate, fuel bundle geometry & dimensions and material properties of Westinghouse manufactured reactor in question has been inserted as the required data for the COBRA-IV-I computer code and results are obtained from the code. The parameters regarding the coolant used in reactor are selected to be the standards of the Westinghouse Sequoyah reactor. Several important parameters are analyzed under normal operating conditions of the reactor besides these parameters are demonstrated in detailed graphics. Under normal operating conditions, parameters in question are obtained for both the average and the hottest channels thus a comparison could also be carried out between above mentioned channels. In the case of channel blockage, the amount of flow contraction is restricted to be maximum of 30% of nominal flow area which is avoided to prevent the invalidity of the code in higher blockage situations. An important goal of this study is Appendix-A, description of the code setup, which is given at the end of the thesis. A detailed description of original code setup, code usage format and the empirical correlations and equations has been set in this appendix.

Results obtained from COBRA code allowed to deduce the conditions of normal operation conditions and furthermore results have given the opportunity to comment on the blockage of the flow channel. Accordingly, in the case of channel blockage, both coolant temperature and the fuel cladding temperature has increased significantly however, this increase has not reached a great amount in view of nuclear safety. While channel blockage has shown its effect mostly on flow rate, the least effected parameter from this situation has been the fuel center temperature.

## 1. GİRİŞ

### 1.1 Genel Bilgi ve Çalışmanın Amacı

Bir basınçlı su reaktörü (PWR), soğutucu akışkanın reaktör koru çıkışında net buhar üretmesinin engellenmesine yetecek basınçta tutulduğu su soğutmalı bir reaktördür [1]. Diğer nükleer reaktörlerde olduğu gibi basınçlı su reaktörlerinde de enerji kaynağı yakıt elemanlarının içinde gerçekleşen fisyon sürecidir. Yakıt içinde depolanan enerji iletim, konveksiyon ve radyasyon ile akışkana transfer edilir [2]. Genel olarak bu transfer mekanizmasının oldukça karmaşık olmasına karşın, yakıt elemanlarının soğutulmasının esas sorumlusu konveksiyon yani akışkanla yapılan ısı taşınımıdır.



Şekil 1.1 Tipik bir Basınçlı Su Reaktörü [1].

PWR dizaynındaki temel prensip, kor boyunca akan soğutucunun ikincil bir ek çevrimdeki diğer bir soğutucu tarafından soğutulmasıdır. Hacimsel kaynamayı

engellemek için gerekli olan yüksek basınç elektrik ile ısıtılan bir basınç odası ile sağlanır. Tipik bir reaktör sisteminde (Şekil 1.1) birincil soğutucu reaktör koru boyunca bir veya daha fazla sayıdaki sirkülasyon pompaları ile hareketlendirilir. Sözkonusu akışkan buharın üretildiği ısı değiştiricisine gider ve daha sonra tekrar reaktör kor girişine pompalanır. İkincil sistemde ise besleme suyu ısı değiştiricisinde buharlaştırılır ve doymuş buhar enerjisini aktardığı türbine gider. Bu akışkan daha sonra yoğuşturucuda yoğuşur ve buhar üretici besleme pompaları tarafından ısı değiştiricisine pompalanır [1]. Temel olarak diğer konvansiyonel sistemlere benzerlik gösteren bu çevrim basitçe fisyon enerjisinin elektrik enerjisine dönüşüm sürecidir. Diğer konvansiyonel sistemlerden farklılıklar göstermekle birlikte bu sürecin mekanizması doğalgaz santralleri, termik santraller ve petrokimya kökenli yakıtlarla çalışan diğer santral ve sistemlerle benzerdir.

Yukarıda belirtilen benzerliklere rağmen nükleer reaktörlerin güvenlik ölçütleri ve reaktör lisanslamasında uygulanan serbestliklerin sınırları son derece katıdır. Nükleer teknoloji esas olarak fisyondayan elde edilen enerjiye dayandığından, gerek yakıtın yanması gerekse yakıtın kullanılması sonucu oluşan artıklar radyoaktif olmakta dolayısı ile nükleer teknolojide güvenlik son derece önem kazanmaktadır.

Nükleer reaktörlerdeki ısı geçişinin simüle edilmesi amacıyla çok çeşitli bilgisayar kodları yazılmıştır. Nümerik altkanal analiz metodlarının 1960'lerde başlamasıyla birlikte, bu yaklaşımdan yararlanan pekçok sayıda bilgisayar kodu geliştirilmiştir. Bu kodlar arasında COBRA, THINC, LYNX-2, TORC, HAMBO, THI-3D-1, DIANA ve SAGA sayılabilir. Ancak bu kodlar arasında en önemlilerinden biri de COBRA kod ailesidir. COBRA'nın esas olarak Hafif Sulu Reaktörlerdeki (LWR) termal hidrolik hesapları yapmak için geliştirilmiş olmasına rağmen bazı durumlarda Ağır Sulu Reaktörler (PHWR) için de fikir verebilmektedir.

Burada yapılan sözkonusu çalışmanın amacı; Westinghouse (Sequoyah) tipi bir basınçlı su reaktörünün (PWR) COBRA-IV-I bilgisayar kodu ile akışkan giriş çıkış sıcaklıkları, zarf sıcaklığı, yakıt çubuğu sıcaklığı, yakıt çubuğu merkez sıcaklığı, akışkan yoğunluk değişim, akışkan hız değişim parametreleri gibi başlıca termal hidrolik özelliklerinin ve akış kanalının tıkanması durumunda bu parametrelerin nasıl değişeceğinin incelenmesidir.

Bu çalışmada kullanılan akışkan ile ilgili parametreler standart bir reaktörün parametreleri olarak seçilmiş ve bu değerler kullanılarak elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir. Burada reaktörün standart çalışma koşulları altındaki pekçok önemli parametresi incelenmiş ve bunlar ayrıntılı olarak grafiklere aktarılmıştır. Normal çalışma şartları altında, hem ortalama bir kanal hem de en sıcak kanal için parametreler elde edilmiştir, bu şekilde sözkonusu kanallar arasındaki parametrelerin de karşılaştırılması yapılabilmektedir. Kanal tıkanması durumunda akışın, kanalın normal kesit alanının en fazla %30'u kadar olması öngörülmüştür bunun esas nedeni COBRA bilgisayar kodunun %30'dan fazla tıkanma durumunda doğru sonuçlar vermemesidir [4]. Başta da belirtildiği üzere nükleer enerji santrallerinde nükleer güvenlik son derece önemli olduğundan özellikle yakıt sıcaklığı ve zarf sıcaklığı analiz edilmiştir. Ayrıca önemli bir parametre olan DNBR (Departure from Nucleate Boiling Ratio) oranı incelenmiş ve kanal tıkanmasının DNBR oranına olan etkisi belirlenmiştir.

Çalışmada Hacettepe Üniversitesi Nükleer Enerji Mühendisliği Bölümünden elde edilen COBRA-IV-I PC versiyonu kullanılmıştır. Bu versiyon, COBRA bilgisayar kodunun DOS ortamında çalışmasına imkan vermesi nedeniyle kullanılmıştır. Yapılan çalışmanın önemli bir amacı ise tezin sonunda Ek-A'da verilen kodun tanımlamasıdır. Bu tanımlamada kodun orjinal tanımlamasında yer alan herbir kartın ayrı ayrı açıklaması, kodun kullanım formatı ve kodda kullanılan ampirik korelasyonların ve formüllerin tanıtımı yapılmıştır. Ayrıca ek olarak verilen diskette kodun kendisi, COBRA-IV-I PC versiyonu, verilmiş ve buna ek olarak da bazı örnek inputlar sağlanmıştır. Bu şekilde bu kodun ileride kullanılması durumunda kullanıcıya önemli bir rehberlik yapacak bir kaynak da sunulmuş olmaktadır.

Çalışmanın bölümlerinde ise, Bölüm 2'de altkanal analizinin dayandığı temel ilkeler, altkanal analizinde kullanılan terimler, bunların şekillerle belirlenen anlamları tanıtılmış ve bu terimler temel formüllerle ifade edilmiştir. Bütün bunlara ek olarak altkanal analizinin dayandığı temel teorik altyapı sunulmuş ve çeşitli fiziksel olayların nedenleri de açıklanmıştır. Bölüm 3'de ise COBRA-IV-I PC versiyonu, kodun iletim ve konveksiyon modelleri, kodun kullandığı yaklaşımlar, kodda kullanılan korunum denklemlerinin ayrıntılı çıkarımı ile çözümde kullanılan nümerik metodlar tanıtılmıştır. Ele alınan problemler Bölüm 4'ün konusudur. Sonuçlar ve

yorum Bölüm 5’de verilmiştir. Ek-A’da kodun orjinal tanımlamasında yeralan herbir kartın ayrı ayrı açıklaması, kodun kullanım formatı ve kodda kullanılan ampirik korelasyonların ve formüllerin tanıtımı yapılmıştır. Çalışmada hem pekçok termal hidrolik parametre incelendiğinden hem de bu parametreler sıcak ve ortalama kanal için ayrı ayrı alındığından grafik sayısının çokluğu da gözönüne alınarak, Ek-B’de COBRA kodundan elde edilen çeşitli grafikler sunulmuştur. Ayrıca ek olarak verilen diskette kodun kendisi (COBRA-IV-I PC versiyonu) verilmiş ve buna ek olarak da bazı örnek inputlar sağlanmıştır.



## 2. ALTKANAL ANALİZİ

### 2.1 Giriş

Altkanal analizi; genel poröz ortam analizinin bir özel halidir. Diğer yöntem olan “dağılmış parametreler (distributed parameters)” yöntemi için ayrıntılı bir sıcaklık ve hız dağılımına gerek vardır. Sonuç korunum denklemlerinin; katı ortamın dağıldığı (bizim incelememizde yakıt çubukları) hacim üzerinden entegrasyonu yapılarak elde edilir [2].

Altkanal analizinde ise seçilen kontrol hacmine korunum prensibi doğrudan uygulanır. Eksenel hız ve yoğunluk gibi altkanal özellikleri tek ortalama değerlerle ifade edilir. Sürtünme faktörleri, altkanallar arasındaki yanıl momentum ve enerji değişim hızları gibi girdi parametreleri kurucu denklemler için gerekmektedir. Altkanalın modellenmesi açısından bu yöntemin seçimi diğerine göre daha basit kurucu denklemler elde etmemizi sağlamaz, fakat gerekli kurucu denklemlerin hazırlanabilmesi için uygun bir düzeni gerçekleştirir.

Altkanal analizinde kontrol hacmi tanımı için iki yaklaşım sözkonusudur: Şekil 2.1’de gösterildiği gibi akışkan merkezli ve çubuk merkezli altkanallar. Yakıt demeti analizi için geleneksel yaklaşım akışkan merkezli altkanal modelidir. Bu çalışmada da bu model seçilmiştir. Bununla beraber, iki fazlı akışta, özellikle de halka biçimindeki rejimlerde çubuk etrafındaki sıvı akışını yerleştirmek bu yaklaşımla çok zor hale gelmektedir. Bu durumda iyi sonuç verdiği gözlenen yakıt çubuğu merkezli yaklaşımı gözönüne almak gerekir.

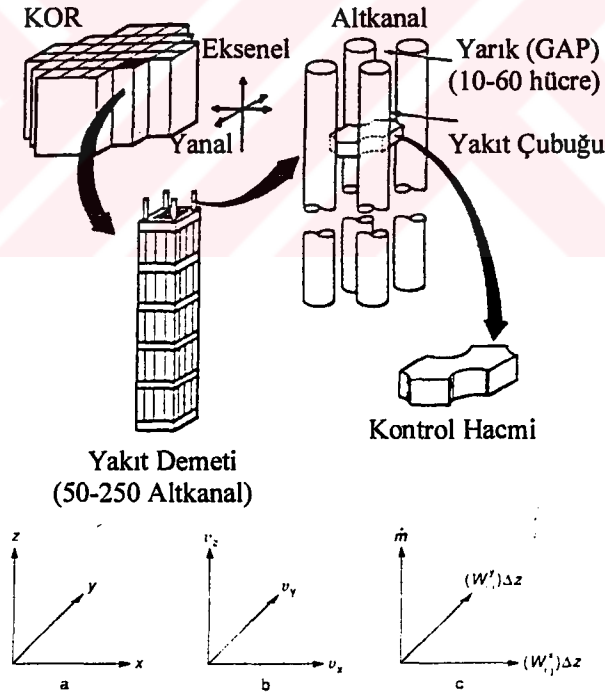
Altkanal analizinde önemli bir sadeleştirme komşu altkanallar arasındaki yanıl değişim ile ilgilidir. Altkanallar arasında bulunan bölgedeki herhangi bir yanıl akışın, bölgeyi terk ettikten sonra yöne olan hassasiyetini kaybettiği kabul edilir. Bu durumda, sabit yanıl bir kordinat dikkate alınmaksızın altkanalların birbirine bağlanabilmesi imkanı doğar.



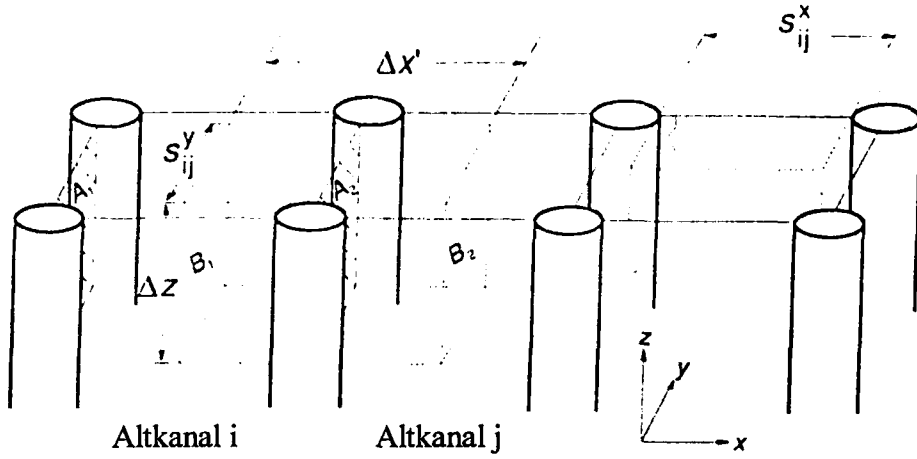
### 2.3 Altkanal Analizinde Kullanılan Terimlerin Tanımları

Altkanal formülasyonlarında görülen bazı önemli parametreler bu bölümde sunulmaktadır. Altkanal kontrol hacmi sadece akışkan bölgelerini kapsadığından gerçek hacim ortlamasındaki i alt dizini gereksizdir ve tanım olarak kullanıldıktan sonra kaldırılacaktır.

**Geometri:** Buradaki anahtar parametre komşu yakıt çubukları arasındaki mesafedir. Komşu yakıt çubukları arasındaki mesafe,  $s_{ij}$ , eksenel birim boyutu,  $\Delta z$ , ile birlikte yanal yönde akışkan için mümkün olan minimum akış alanını,  $S_{ij} = s_{ij} \Delta z$ , ifade eder. Şekil 2.3'ün gösterdiği gibi x- ve y- yönlerindeki mesafeler,  $s_{ij}^x$  ve  $s_{ij}^y$ , farklı olabilir. Yakıt çubuklarının aynı zamanda eksenel olarak bükülmesi eksenel olarak değişen yarı genişliklerine yol açabilir. Pekçok nümerik altkanal kodları başta COBRA olmak üzere bu şekildeki değişimlere imkan vermektedir.



Şekil 2.2 Altkanal kontrol hacmi ile reaktör koru arasındaki ilişki; a – Kartezyen koordinat sistemi, b – Kartezyen koordinat sistemindeki hızlar, c - Kartezyen koordinat sisteminde kütle debileri [3].



Şekil 2.3 Yanal Momentum Denklemi için Kontrol Hacmi [3].

**Kütle Akış Hızı:** Kontrol hacmi içinde hem eksenel hem de yanal kütle akış hızları söz konusudur.

**Eksenel Kütle Akış Debisi :** Bu terim kontrol hacmi olarak seçilen altkanalda baskın olan eksenel kütle akış hızını temsil eder. Söz konusu terim kütle/zaman boyutundadır ve aşağıdaki biçimde tanımlanır:

$$\dot{m} = \int_{A_f} \rho v_z dA \quad (2.1)$$

burada  $A_f$  altkanalın toplam eksenel kesit alanını temsil etmektedir.  $\psi$  akışkana ait herhangi bir özellik olmak üzere, gerçek alan ortalaması tanımı (2.1a) kullanılacak olursa denklem (2.1) aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\overline{\psi} = \frac{1}{A_f} \int_{A_f} \psi dA \quad (2.1a)$$

$$\dot{m} = \overline{\rho v_z} A_f = \{\rho v_z\} A_f \quad (2.2)$$

**Birim Uzunluktaki Yanal Kütle Akış Hızı,  $W_{ij}$  ve  $W_{ij}'^D$ :** İki mekanizma yanal kütle akışına yol açmaktadır: saptırıcı yanal akışa neden olan yanal basınç gradyanları ve türbülanslı kütle değişimine neden olan eksenel akıştaki türbülans dalgalanmaları.

**Saptırıcı Yanal Debi,  $W_{ij}$ :** Bir reaktörde yanal basınç gradyanları iki tip fenomenle; geometri farklılıkları veya akışkan yoğunluğundaki düzgün olmayan değişikliklerle, gerçekleşebilir. Geometri farklılıkları yakıt çubuklarının bükülmesini ve şişmesini kapsamakta, yoğunluk farkları ise radyal ısı akısı değişimleri nedeniyle oluşan küçük farklılıkları ve kaynama başlangıcı nedeniyle olan büyük farklılıkları kapsamaktadır. Saptırıcı yanal debinin büyüklüğü, akışın tıkanması veya yakıt çubuğu kavisliliği gibi durumlar haricinde normal reaktör operasyon şartları altında eksenel akış ile karşılaştırıldığında küçüktür. Bu değer x- ve y- eksen boyundaki akış için aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$W_{ij}^x = \frac{1}{\Delta z} \iint_{\Delta z s_{ij}^y} \rho v_x ds dz = {}^{i(x)} \{ \rho v_x \} s_{ij}^y \quad (2.3)$$

$$= \{ \rho v_x \} s_{ij}^y$$

ve

$$W_{ij}^y = \frac{1}{\Delta z} \iint_{\Delta z s_{ij}^y} \rho v_y ds dz = {}^{i(y)} \{ \rho v_y \} s_{ij}^x \quad (2.4)$$

$$= \{ \rho v_y \} s_{ij}^x$$

**Türbülanslı Değişim,  $W_{ij}'^D$ :** Bu değişim enine olan altkanal sınırını kesen eşit hacimde girdapların bulunduğu varsayımına dayanmaktadır. Eğer bu girdaplar tek fazlı akış şartlarında olduğu gibi aynı zamanda eşit yoğunlukta larsa net kütle değişimi gerçekleşmez. Tek fazlı akışta net kütle akı değişimi olmaz bunun yerine hem momentum hem de enerji altkanallar arasında değişir ve bu değişim hızları varsayılan (hayali) türbülanslı akış debisi cinsinden karakterize edilir. Bu akış debileri momentum ve enerji için ayrı ayrı  $W_{ij}'^M$  ve  $W_{ij}'^H$  olarak tanımlanır. D üst dizini türbülanslı kütle değişimini göstermek için kullanılmıştır. Tek fazlı akışta bu nedenle; ij alt dizini i.altkanaldan j.altkanala olan akışı temsil etmek üzere ve  $i \leftrightarrow j$

alt dizini i.altkanalla j.altkanal arasındaki net akışı göstermek için kullanırsa tek fazlı akış için;

$$W_{ij}'^D = W_{ji}'^D \quad (2.5)$$

olduğundan;

$$W_{i \leftrightarrow j}'^D \equiv W_{ij}'^D - W_{ji}'^D = 0 \quad (2.6)$$

**Momentum ve Enerji Transferi:** Üç çeşit yanal momentum ve enerji transferi vardır: saptırıcı yanal akıyla gerçekleşen taşıma, türbülanslı değişim ile gerçekleşen taşıma ve, eksenel hız ve sıcaklığın yanal gradyanları nedeniyle olan moleküler transfer.

Saptırıcı yanal akış ile transfer edilen momentum ve enerji transferi, yanal kütle akısının,  $\rho v_x$  veya  $\rho v_y$ , ve taşınan eksenel momentum ve entalpinin,  $\{\rho v_x v_z\}$  veya  $\{\rho v_y v_z\}$  ve  $\{\rho v_x h\}$  veya  $\{\rho v_y h\}$ , alan ortalamaları olarak yazılır. Saptırıcı yanal akış hızının tanımlanmış olmasına rağmen taşınan karakteristik entalpi ve momentum taşınımında etkin olan eksenel hız, kesitte var olan profili nedeniyle tanımlı olan altkanal özellikleri cinsinden tam bir biçimde karakterize edilemez. Sadece COBRA için değil diğer bilgisayar kodları tarafından da yıldızlı tanımlar kullanılmaktadır ve bu tanımlar bilgisayar kodlarındaki kullanım için daha elverişlidirler. Örneğin;

$$\{v_z^*\} \equiv \frac{\{\rho v_x v_z\}}{\{\rho v_x\}} \equiv \frac{\{\rho v_y v_z\}}{\{\rho v_y\}}, \text{ altkanallar arası bölgede ortalama eksenel hız,}$$

$$\{h_x^*\} \equiv \frac{\{\rho v_x h\}}{\{\rho v_x\}}; \{h_y^*\} \equiv \frac{\{\rho v_y h\}}{\{\rho v_y\}}, \text{ saptırıcı yanal akış ile taşınan etkin entalpi,}$$

Türbülans nedeniyle, altkanallar arası birim uzunlukta meydana gelen net momentum ve ısı değişimi aşağıdaki zaman ortalamalı denge denklemleri ile tanımlanmıştır:

$$\overline{(\tau s)_{i \leftrightarrow j}'} \equiv \overline{W_{ij}'^D v_{zi}} - \overline{W_{ji}'^D v_{zj}} \quad (2.7)$$

$$\overline{(\tau s)'}_{i \leftrightarrow j} \equiv \overline{W'_{ij}{}^D v_{zi}} - \overline{W'_{ji}{}^D v_{zj}} \quad (2.7)$$

$$\overline{(q'' s)'}_{i \leftrightarrow j} \equiv \overline{W'_{ij}{}^D h_i} - \overline{W'_{ji}{}^D h_j} \quad (2.8)$$

Tek fazda  $\overline{W'_{ij}{}^D} = \overline{W'_{ji}{}^D}$  olduğundan denklem (2.7) ve (2.8) aşağıdaki biçimde yazılabilir:

$$\overline{(\tau s)'}_{i \leftrightarrow j} = \overline{W'_{ij}{}^M (v_{zi} - v_{zj})} \quad (2.9)$$

burada,

$$\overline{W'_{ij}{}^M} \equiv \frac{\overline{W'_{ij}{}^D v_{zi}} - \overline{W'_{ji}{}^D v_{zj}}}{\overline{v_{zi}} - \overline{v_{zj}}} \quad (2.10)$$

$\overline{W'_{ij}{}^M}$  hesaplanan momentum transferine karşılık gelen hayali debidir.

$$\overline{(q'' s)'}_{i \leftrightarrow j} = \overline{W'_{ij}{}^H (\bar{h}_i - \bar{h}_j)} \quad (2.11)$$

bağıntısında,

$$\overline{W'_{ij}{}^H} \equiv \frac{\overline{W'_{ij}{}^D h_i} - \overline{W'_{ji}{}^D h_j}}{\overline{h_i} - \overline{h_j}} \quad (2.12)$$

Moleküler veya viskozite etkileri de yarık boyunca enerji ve momentum transferine yol açar. Bu etkiler yarıktaki sıcaklık ve hız gradyanları ile orantılıdır. Bu viskoz etkilerin katılabilmesi için  $W_{ij}^M$  ve  $W_{ij}^H$  parametreleri uygunluk bakımından  $W_{ij}^{*M}$  ve  $W_{ij}^{*H}$  olarak yeniden tanımlanmıştır. Bu durumda denklem (2.7) ve (2.8) tekrar aşağıdaki biçimde yazılabilir:

$$(\tau s)_{i \leftrightarrow j}^* \equiv W_{ij}^{*I} v_{zi} - W_{ji}^{*I} v_{zj} \quad (2.13)$$

$$(q''s)_{i \leftrightarrow j}^* \equiv W_{ij}^{*I} h_i - W_{ji}^{*I} h_j \quad (2.14)$$

tek fazlı akış için denklem (2.9) ve (2.11) yeniden aşağıdaki biçimde yazılabilir;

$$(\tau s)_{i \leftrightarrow j}^* \equiv W_{ij}^{*M} (v_{zi} - v_{zj}) \quad (2.15)$$

$$(q''s)_{i \leftrightarrow j}^* \equiv W_{ij}^{*H} (h_i - h_j) \quad (2.16)$$

Yukarıdaki denklemlerde sadeliği sağlamak için zaman ortalamalı üst çizgiler çıkarılmıştır.

### **3. COBRA-IV-I PC VERSİYONU TANITIMI**

#### **3.1. COBRA Bilgisayar Kodu**

Isı değiştiricilerinin çoğu ve nükleer yakıt elemanları çubuk demeti geometrisindedirler. Bu çubuk demetleri arasında soğutucu akışkanın akışı ve geçişi karmaşık bir yapıya sahiptir ve ısı geçişini iyi bilmek gereklidir. Bu amaçla pekçok bilgisayar programı yazılmıştır [8].

Bölüm 1.1.'de açıklandığı gibi nümerik altkanal analiz metodlarının 1960'larda başlamasıyla birlikte, bu yaklaşımdan yararlanan pekçok sayıda bilgisayar kodu geliştirilmiştir. Bu kodlar arasında COBRA, THINC, LYNX-2, TORC, HAMBO, THI-3D-1, DIANA ve SAGA sayılabilir. Ancak bu kodlar arasında belki de en önemlilerinden biri de COBRA kod ailesidir. COBRA-IV-I, COBRA kodunun önceki versiyonlarındaki seçeneklerin ve yeteneklerin artırılması için geliştirilmiştir. Genel olarak IIIC kartlarında yapılacak olan küçük değişiklikler COBRA-IIIC kodunu COBRA-IV-I ile uyumlu hale getirecektir. Ancak bu çalışmada bu yol izlenmemiş onun yerine COBRA-IV-I kodunun PC versiyonu doğrudan kullanılmıştır.

COBRA kodunda kullanıcı tarafından tanımlanabilen çeşitli ampirik korelasyonlar da input olarak girilebilmektedir. Kullanıcıya daha fazla yardımcı olabilmek amacıyla pekçok hesaplama parametresi kullanıcı boş karakter girdiğinde bile hazır bir değere sahip olacak biçimde değerlendirilmektedir.

#### **3.2. Temel Kabuller ve COBRA Isı İletim Modelinin Tanımlanması**

Cobra kod ailesinin yakıt çubuğu ısı transfer modeli, güç yoğunluğunun tanımlanmasıyla zamandan bağımsız ve geçici rejim süresince yakıt ve zarf sıcaklığının hesaplanmasına imkan vermektedir.

Yakıt ve zarf sıcaklığı hesaplarında Cobra kod ailesinin kullandığı yakıt çubuğu ısı transfer modeli yakıtı eşit olarak bölünmüş aralıklara ve zarfı da bir aralığa ayırarak radyal iletimi gözönüne almaktadır. Yakıt elemanından ısı alımının sözkonusu olduğu problemlerde problemi basitleştirici bir yaklaşım olarak eksenel ve çevresel ısı iletimi ihmal edilir. Eksenel ısı iletimi ihmal edilebilir çünkü eksenel sıcaklık gradyanları radyal sıcaklık gradyanları ile karşılaştırıldığında genellikle küçüktür. Yakıt çubukları kesitlerinde radyal yönde açığa bağlı sıcaklık farkları nedeni ile ısı iletimi (kondüksiyon) gerek öneminin fazla olmaması gerekse nümerik analizde nod sayısını artıracak için ihmal edilmektedir. Bu varsayım ısı transferi katsayıları ve akışkan sıcaklıkları yakıt çubuğu etrafında homojen varsayılarak kabul edilebilir. Cobra ısı iletim modelinin nümerik çözüm metodu tüm zaman adımları için kararlı olan kapalı sonlu fark metodunu kullanmaktadır [7].

### **3.3. Temel Kabuller ve COBRA Konveksiyon Modelinin Tanımlanması**

Cobra ailesinde kullanılan konveksiyon modeli önceki bölümlerde de açıklandığı gibi altkanal analizidir. Bu teknikte, çubuklar boyunca geçen akışkan tarafından soğutulan çubuk demetinin çubuklar arasında paralel olarak etkileşen bir dizi akış kanalına bölünmüş olduğu düşünülür. Kütle, enerji ve momentum korunum denklemleri akışkan entalpisi ve kütle hızındaki radyal ve eksenel farklılıkları elde etmek amacıyla çözülür. Altkanallar arasındaki etkileşimler fiziksel modelin önemli bir kısmını oluşturmaktadır.

Bu etkileşim iki işlemden oluşmaktadır; yanal akış ve türbülanslı karışım. Yanal akış altkanallar arasındaki kütle transferini kapsamaktadır. Radyal basınç gradyanı yanında türbülanslı karışımın da var olması durumunda basınç gradyanından bağımsız olan ancak akışın türbülanslı doğasından kaynaklanan bir karışım işlemi sözkonusudur.

Altkanal analizi, kanal uzunluğunun hesaplama amacıyla bir dizi küçük aralığa bölünmesiyle yapılır. Kütle, enerji ve momentum korunumu eşzamanlı diferansiyel denklemler kümesi sonlu fark biçiminde yazılır ve yanal akış ile türbülanslı karışım da hesaba katılarak demetdeki her bir aralık noktasındaki kütle akışını ve entalpiyi elde etmek üzere yinelemeli biçimde çözülür.

Altkanal analizindeki genel sadeleştirme akış ve entalpi gradyanlarının ihmal edilmesi ve sadece altkanal sınırlarında akı ve entalpi gradyanlarının bulunduğu varsayılmasıdır.

Yanal akışının değeri aksel akıştan çok daha küçüktür. Normal reaktör operasyon şartlarında yanal akışın aksel akışa olan etkisi ihmal edilebilir. Birkaç akış kanalının tıkandığı normal dışı operasyon şartları altında bile aksel akışta yaratılan pertubasyon küçük olacaktır. Ancak bu küçük yanal akış termal alan üzerinde dikkate değer bir etkiye sahip olur.

Türbülanslı karışım bir yakıt demeti içinde ve yakıt demeti boyunca akışkanın sıcaklık farklarını eşitlemede önemli bir role sahiptir. Bu nedenle doğru karışım katsayısının seçimi yakıt çubuk demeti akışının termal-hidrolik davranışının doğru bir biçimde tayin edilmesinde önemlidir. Bu seçim düzgün ve pürüzlü yüzeylere bağlıdır. Türbülanslı karışımın iki altkanal arasındaki yakıt çubuklarının geometrik dizimine güçlü bir biçimde bağlı olduğu ve genel bir deyişle yanal kontrol hacminin eni ve boyu oranına da ( $s/l$ ) göreceli olarak hassas olduğu bilinmektedir. Burada  $s$ ; altkanallar arasında ilişkiyi sağlayan yarığın genişliği olup,  $l$  ise altkanal merkezleri arasındaki uzaklığı göstermektedir. Diğer yandan  $l$  yanal momentum denkleminin yazılmasına neden olan kanallar arası geçişin etkilendiği bölgedir (bakınız Şekil 3.4). Bu genişliğin akışkan hızına,  $s$ 'nin değerine ve tıkanma oranına bağlı olarak değişeceği açıkça bellidir. Buna rağmen bilgisayar programı sabit bir değer öngörmüş ve konuma bağlı olması hesaba katılmamıştır. (3.40) bağıntısından da görüleceği üzere  $s/l$  parametresi basınç ve sürtünme terimlerinin, momentum değişimi yanındaki önemini belirtmektedir. Altkanallarda ve Cobra'nın konveksiyon modelindeki denklemlerde altkanal yaklaşımı ve uygun kabuller yapılarak denklemler yazılır [6,7].

Cobra bilgisayar programında altkanal çözümlemesinde yan doğrultudaki hızların aksel hızlar yanında çok küçük olduğu varsayımından hareketle denklemler türetilmiştir. Bu nedenle, kanallar arası akışta kanalı terk eden akışın yön bakımından anlamını yitirdiği ve yarıktan altkanala geçişte yarığa paralel bir hız bileşeni olmadığı kabul edilir. Bu varsayımın diğer bir sonucu da bir altkanalı terkedip diğerine giren momentum akışının ihmal edilebilir olduğudur [6].

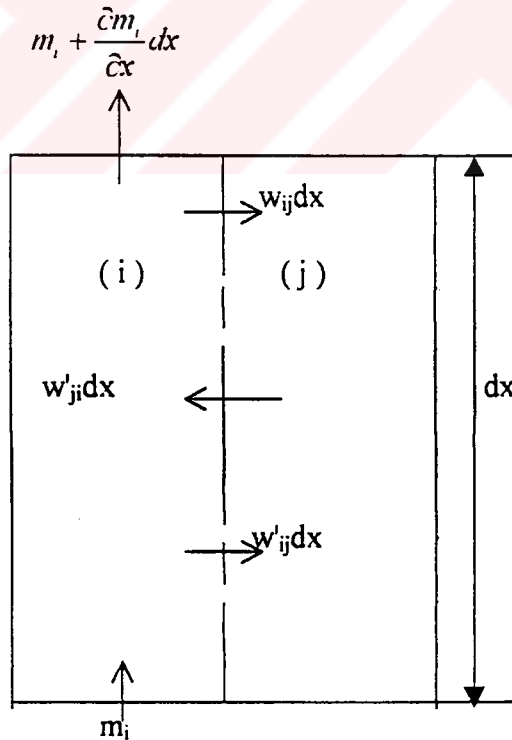
COBRA kodunda sonik hız yayılımı etkileri hesaba katılmamıştır. Bu nedenle geçici rejim hesaplamalarında alınan zaman aralıkları ses dalgasının kanalı geçmesi için gereken süreden daha büyük alınmalıdır. COBRA koduna ait olan kart tanımlamaları Ek-A'da verilmiştir. Sonraki bölümde kodda kullanılan korunum denklemleri verilecektir.

### 3.4. Süreklilik Denklemi

Süreklilik denklemi Şekil 3.1'deki kontrol hacminde bulunan j. altkanala komşu olan i. altkanala uygulanacak olursa;

Kontrol hacminde artış = Giriş debisi – Çıkış debisi

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho_i A_i dx = m_i - (m_i + \frac{\partial m_i}{\partial x} dx) + W'_{ji} dx - W'_{ij} dx - W_{ij} dx \quad (3.1)$$



Şekil 3.1 Altkanallardaki Kütle Korunumu [6,7].

Denklem (3.1)'deki terimler Şekil 3.1'in de yardımıyla aşağıdaki biçimde tanımlanır:

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho_i A_i dx = m_i - (m_i + \frac{\partial m_i}{\partial x} dx) + W'_{ji} dx - W'_{ij} dx - W_{ij} dx \quad (3.1)$$

burada  $\rho_i$  yoğunluk,  $m_i$  kütleli debi,  $A_i$  kesit alanı,  $W'_{ji}$  j. altkanaldan i. altkanala birim kanal boyu için türbülanslı yanal akış,  $W'_{ij}$  i. altkanaldan j. altkanala olan türbülanslı yanal akış,  $W_{ij}$  komşu altkanallar arasındaki saptırıcı yanal akıştır. Başlıca kabuller: a) türbülanslı karışım da kanallar arası net kütle alış verişinin sıfır olduğu varsayımı ve b) kesit alanının zamana göre sabit olduğu varsayımdır.

Yukarıda verilen kabullerle,  $W'_{ij} = W'_{ji}$  ve  $\partial A_i / \partial t = 0$  olarak alınırsa denklem (3.1) aşağıdaki biçime dönüşür;

$$A_i \frac{\partial \rho_i}{\partial t} + \frac{\partial m_i}{\partial x} = -W_{ij} \quad (3.2)$$

Tüm komşu kanallar gözönüne alınacak olursa;

$$A_i \frac{\partial \rho_i}{\partial t} + \frac{\partial m_i}{\partial x} = -\sum_{j=1}^N W_{ij} \quad (3.3)$$

Denklem (3.3)'ün sağ tarafı saptırıcı yanal akışı altkanal akışı cinsinden ifade etmektedir. Denklemin sol tarafı ise akışkan genleşmesi nedeniyle akışta gerçekleşen değişim bileşenini veren yoğunluğun zamana göre türevidir.

### 3.5. Enerji Korunum Denklemi

Şekil 3.2'deki kontrol yüzeyinden geçebilecek olan enerjiyi ve kontrol hacmi içindeki enerji birikimindeki değişimi gözönüne alalım. Enerji korunumunu j. altkanala komşu olan i. altkanalın kontrol hacmi için uygulanırsa, kontrol hacmindeki toplam enerjide değişim

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho_i u_i A_i dx = m_i h_i - (m_i h_i + \frac{\partial}{\partial x} m_i h_i dx) + W'_{ji} h_j dx - W'_{ij} h_i dx - W_{ij} h^* dx + \bar{q}'_i dx \quad (3.4)$$

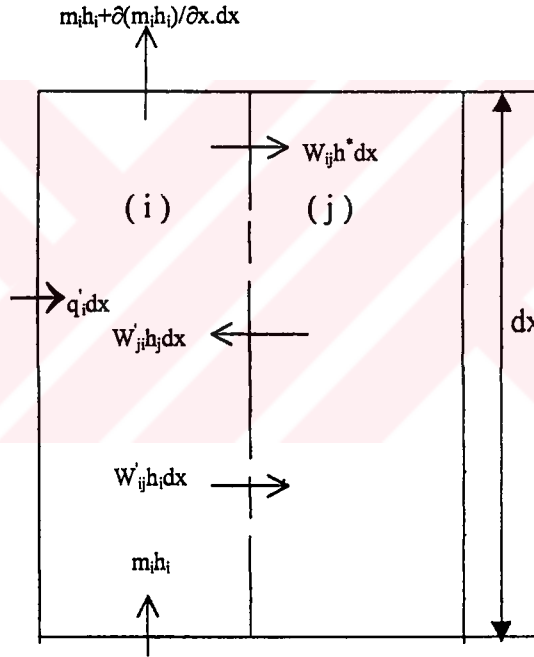
burada  $\rho_i$  entalpi taşınımı için etkin yoğunluk,  $u_i$  iç enerji,  $A_i$  kesit alanı,  $m_i$  kütleli debi,  $W'_{ji}$  komşu altkanallar arasındaki türbülanslı yanal akış,  $W_{ij}$  komşu altkanallar arasındaki saptırıcı yanal akış,  $h^*$  saptırıcı akış ile taşınan entalpi ve  $q'_i$  birim uzunlukta eklenen ısı miktarını ve  $i$  ve  $j$  alt indisleri de altkanal tanımlamalarıdır.

Denklem (3.4)'te iç enerji-u- aşağıda elde edilmiştir;

$$h = u + pv$$

$$v = 1/\rho \quad (3.5)$$

$$\rho u = \rho h - p \quad (3.6)$$



Şekil 3.2 Enerji Korunumu kontrol Hacmi [7].

Denklem (3.6) denklem (3.4)'te yerine konur, aşağıdaki kabuller de gözönüne alınırsa;

- 1- Kesit alanı zamana göre sabittir.
- 2- Türbülanslı akışta kanallar arası net kütle değişimi sıfırdır.
- 3- Sonik hızla yayılım dikkate alınmamıştır.

$$A_i \frac{\partial}{\partial t} (\rho_i'' h_i - p) + \frac{\partial}{\partial x} m_i h_i = \overline{q_i'} + (h_j - h_i) W_{ij}' - W_{ij} h^* \quad (3.7)$$

burada p basıncı göstermek üzere;

$$A_i \frac{\partial}{\partial t} \rho_i'' h_i - A_i \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} m_i h_i - \overline{q_i'} + (h_j - h_i) W_{ij}' - W_{ij} h^* \quad (3.8)$$

$\partial p / \partial t$  ihmal edilir ve (3.3) denkleminde verilen süreklilik denklemini kullanılırsa,

$$A_i \frac{\partial}{\partial t} (\rho_i'' h_i) + m_i \frac{\partial h_i}{\partial x} + h_i (-W_{ij} - A_i \frac{\partial \rho_i}{\partial t}) = \overline{q_i'} + (h_j - h_i) W_{ij}' - W_{ij} h^* \quad (3.9)$$

$$A_i \left( \frac{\partial}{\partial t} \rho_i'' h_i - h_i \frac{\partial \rho_i}{\partial t} \right) + m_i \frac{\partial h_i}{\partial x} = \overline{q_i'} + (h_j - h_i) W_{ij}' + (h_i - h^*) W_{ij} \quad (3.10)$$

denklem (3.10)'nun her tarafı  $m_i$  değerine bölünürse,

$$\frac{A_i}{m_i} \left( \frac{\partial}{\partial t} \rho_i'' h_i - h_i \frac{\partial \rho_i}{\partial t} \right) + \frac{\partial h_i}{\partial x} = \frac{\overline{q_i'}}{m_i} + (h_j - h_i) \frac{W_{ij}'}{m_i} + (h_i - h^*) \frac{W_{ij}}{m_i} \quad (3.11)$$

Burada  $\rho_i''$  daha önce tanımlandığı üzere entalpi taşınımı için etkin yoğunluktur ve aşağıdaki biçimde tanımlanmıştır;

$$\rho_i'' = \rho_i - h_{fg} \frac{\partial \psi}{\partial h_i} \quad (3.12)$$

burada  $\psi$  enerji taşınımı için düzeltme fonksiyonudur ve  $h_{fg}$  ise buharlaşma gizli ısıdır. Denklem (3.11) ve (3.12)'den;

$$\begin{aligned} & \frac{A_i}{m_i} \left[ h_i \frac{\partial}{\partial t} (\rho_i - h_{fg} \frac{\partial \psi}{\partial h_i}) + \frac{\partial h_i}{\partial t} (\rho_i - h_{fg} \frac{\partial \psi}{\partial h_i}) - h_i \frac{\partial \rho_i}{\partial t} \right] + \frac{\partial h_i}{\partial x} \\ &= \frac{\bar{q}_i'}{m_i} + (h_j - h_i) \frac{W'_{ij}}{m_i} + (h_i - h^*) \frac{W_{ij}}{m_i} \end{aligned} \quad (3.13)$$

$$\begin{aligned} & \frac{A_i}{m_i} \left[ h_i \frac{\partial \rho_i}{\partial t} - h_i \frac{\partial}{\partial t} (h_{fg} \frac{\partial \psi}{\partial h_i}) + \frac{\partial h_i}{\partial t} (\rho_i - h_{fg} \frac{\partial \psi}{\partial h_i}) - h_i \frac{\partial \rho_i}{\partial t} \right] \frac{\partial h_i}{\partial x} \\ &= \frac{\bar{q}_i'}{m_i} + (h_j - h_i) \frac{W'_{ij}}{m_i} + (h_i - h^*) \frac{W_{ij}}{m_i} \end{aligned} \quad (3.14)$$

$$\frac{A_i}{m_i} \frac{\partial h_i}{\partial t} (\rho_i - h_{fg} \frac{\partial \psi}{\partial h_i}) + \frac{\partial h_i}{\partial x} = \frac{\bar{q}_i'}{m_i} + (h_j - h_i) \frac{W'_{ij}}{m_i} + (h_i - h^*) \frac{W_{ij}}{m_i} \quad (3.15)$$

burada;

$$\frac{m_i}{A_i (\rho_i - h_{fg} \frac{\partial \psi}{\partial h_i})} = u_i'' \quad (3.16)$$

burada  $u_i''$  etkin entalpi taşınım hızıdır.

Denklem (3.16) denklem (3.15)'e yerleştirilecek olursa;

$$\frac{1}{u_i''} \cdot \frac{\partial h_i}{\partial t} + \frac{\partial h_i}{\partial x} = \frac{\bar{q}_i'}{m_i} + (h_j - h_i) \frac{W'_{ij}}{m_i} + (h_i - h^*) \frac{W_{ij}}{m_i} \quad (3.17)$$

Denklem (3.17)'deki ısı transferi terimi iki terimi içermektedir. Bu terimlerden biri yakıt yüzeyinden yapılan ısı transferini diğer terim ise komşu altkanallar arasındaki termal iletimi ifade etmektedir.

Yakıt yüzeyinden akışkana olan ısı transferi yakıt yüzey sıcaklığına, akışkan sıcaklığına ve yüzey ısı transfer katsayısına bağlıdır. Komşu altkanallar arasındaki

termal iletkenliğin altkanal sıcaklık farkları ile orantılı olduğu ve, altkanal geometrisi ve akışkan termal iletkenliğine bağlı olduğu kabul edilmektedir.

Termal iletim terimi  $q_i$  aşağıdaki denklemle verilir;

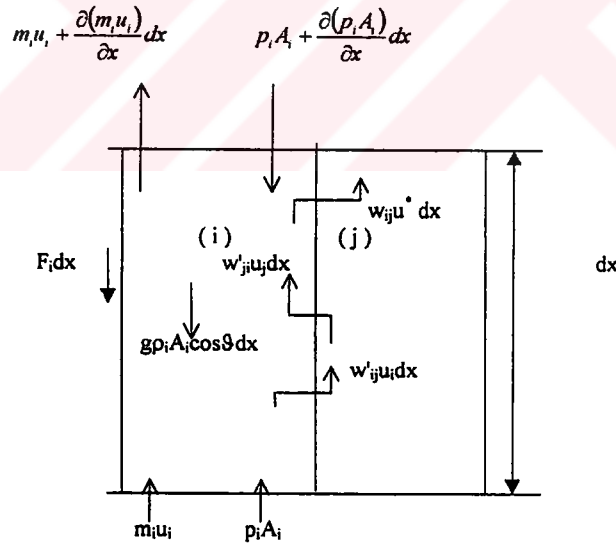
$$\overline{q'_i} = q_i + (t_j - t_i)C_{ij} \quad (3.18)$$

burada  $C_{ij}$  termal iletim katsayısıdır.

Denklem (3.18) kullanılarak ve tüm komşu altkanallar gözönüne alınacak olursa enerji korunum denklemi aşağıdaki biçimi alır;

$$\frac{1}{u_i''} \frac{\partial h_i}{\partial t} + \frac{\partial h_i}{\partial x} = \frac{\overline{q'_i}}{m_i} - \sum_{j=1}^N (t_i - t_j) \frac{C_{ij}}{m_i} - \sum_{j=1}^N (h_i - h_j) \frac{W_{ij}}{m_i} + \sum_{j=1}^N (h_i - h^*) \frac{W_{ij}}{m_i} \quad (3.19)$$

Denklem (3.19)'un sol tarafında bulunan terimler entalpinin zamana ve konumuna bağlı değişimini vermektedir. Denklemin sağ tarafında bulunan ilk terim, akan birim



Şekil 3.3 Eksenel Momentum Denklemi Kontrol Hacmi [6,7].

kütle başına ısı kazancını vermekte ikinci terim ise karışımındaki iletimi hesaba katmaktadır. Üçüncü terim birbiriyle ilişkili tüm altkanallar arasındaki türbülanslı entalpi taşınımını ve dördüncü terim ise saptırıcı yanal akış ile taşınan enerjiyi vermektedir.

### 3.6. Eksenel Momentum Denklemi

Kontrol hacmine uygulanan momentum teoremine göre, çıkan momentum – giren momentum + kontrol hacmindeki artış, kontrol hacmine etkiyen tüm dış kuvvetlerin toplamına eşit olacaktır.

Şekil 3.3'te verilen kontrol hacmine momentum denkleminin uygulanmasıyla

$$\begin{aligned} \frac{\partial m_i}{\partial t} dx = & -F_i dx - A_i g \rho_i \cos \theta dx + p_i dA_i + m_i u_i - \left( m_i u_i + \frac{\partial}{\partial x} m_i u_i dx \right) + \\ & p_i dA_i - \left( p_i A_i + \frac{\partial}{\partial x} p_i A_i dx \right) + W'_{ji} u_j dx - W'_{ji} u_i dx - W_{ij} u^* dx \end{aligned} \quad (3.20)$$

Kesit alanının sabit olduğu ve komşu altkanallar arasındaki türbülanslı yanal akışın eşit olduğu kabul edilirse,

$$\frac{\partial}{\partial t} m_i = -F_i - A_i g \rho_i \cos \theta - \frac{\partial}{\partial x} (m_i u_i) - A_i \frac{\partial p_i}{\partial x} + (u_j - u_i) W'_{ij} - W_{ij} u^* \quad (3.21)$$

burada  $m_i$  kütleli debi,  $F_i$  sürtünme kuvveti kayıpları,  $u_i$  eksenel hız,  $p$  basınç,  $W_{ij}$  altkanallar arasındaki saptırıcı yanal akış hızı,  $W'_{ij}$  komşu altkanallar arasındaki türbülanslı yanal akış hızı,  $g$  yerçekim sabiti,  $\rho$  yoğunluk ve  $u^*$  yanal kontrol hacminde eksenel hızdır.

Direnç kuvveti için aşağıdaki ilişki kullanılmaktadır;

$$F_i = \left[ \frac{A_i V'_i f \phi_i}{2 D_i} + \frac{A_i K_i V'_i}{2 \Delta x} \right] \left[ \frac{m_i}{A_i} \right]^2 \quad (3.22)$$

burada  $f_i$  sürtünme faktörü,  $V'_i$  momentum denklemi için özgül hacim,  $\phi_i$  iki faz sürtünme çarpanı,  $A_i$  kesit alanı,  $D_i$  çap,  $K_i$  form çarpanı (spacer factor),  $\Delta x$  ise COBRA 'daki ızgara aralığıdır.

Yukarıda bahsi geçen momentum denklemi için özgül hacim;  $\alpha$  boşluk katsayısı,  $x$  kurulum derecesi ve  $v'$  özgül hacim olmak üzere, aşağıdaki biçimde tanımlanmıştır;

$$v'_i = \frac{x^2 v'_g}{\alpha} + \frac{(1-x)^2 v'_f}{1-\alpha} \quad (3.22a)$$

Denklem (3.22)'deki ilk terim birim uzunluk başına yüzey sürtünmesi, ikinci terim ise tel sargı nedeniyle oluşan kayıpları hesaba katmaktadır.

Denklem (3.22) ve süreklilik denklemini (3.3) kullanırsak denklem (3.21);

$$\begin{aligned} & - \left| \frac{A_i V'_i f \phi_i}{2D_i} + \frac{A_i K_i V'_i}{2\Delta x} \right| \left| \frac{m_i}{A_i} \right|^2 - A_i g \rho_i \cos \theta - u_i \left( -W_{ij} - A_i \frac{\partial \rho_i}{\partial t} \right) \\ & - m_i \left( \frac{\partial u_i}{\partial x} \right) - A_i \frac{\partial p_i}{\partial x} = \frac{\partial m_i}{\partial t} + (u_i - u_j) W'_{ij} + u^* W_{ij} \end{aligned} \quad (3.23)$$

Eksenel hız  $u_i$  aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$u_i = \frac{m_i V'_i}{A_i} \quad (3.24)$$

(3.24) denklemi (3.23) denkleminde konursa;

$$\begin{aligned} & - \left| \frac{A_i V'_i f \phi_i}{2D_i} + \frac{A_i K_i V'_i}{2\Delta x} \right| \left| \frac{m_i}{A_i} \right|^2 - A_i g \rho_i \cos \theta + u_i W_{ij} + A_i u_i \frac{\partial \rho_i}{\partial t} \\ & - \frac{m_i}{A_i} \left( V'_i \frac{\partial m_i}{\partial x} + m_i \frac{\partial V'_i}{\partial x} \right) - A_i \frac{\partial p_i}{\partial x} = \frac{\partial m_i}{\partial t} - (u_i - u_j) W'_{ij} + u^* W_{ij} \end{aligned} \quad (3.25)$$

$$\begin{aligned} & - \left| \frac{A_i V'_i f \phi_i}{2D_i} + \frac{A_i K_i V'_i}{2\Delta x} \right| \left| \frac{m_i}{A_i} \right|^2 - A_i g \rho_i \cos \theta + u_i W_{ij} + A_i u_i \frac{\partial \rho_i}{\partial t} \\ & - \frac{m_i V'_i}{A_i} \frac{\partial m_i}{\partial x} - \frac{m_i^2}{A_i} \frac{\partial V'_i}{\partial x} A_i \frac{\partial p_i}{\partial x} = \frac{\partial m_i}{\partial t} - (u_i - u_j) W'_{ij} + u^* W_{ij} \end{aligned} \quad (3.26)$$

burada  $\frac{\partial m_i}{\partial x} = -W_{ij} - A_i \frac{\partial \rho_i}{\partial t}$  olmak üzere;

Türbülanslı yanal akış nedeniyle ısı ve momentumun girdaplı difüzyonu sözkonusudur. Bu nedenle türbülanslı yanal akış terimi türbülans faktörü  $-f_T$  ile çarpılmıştır.

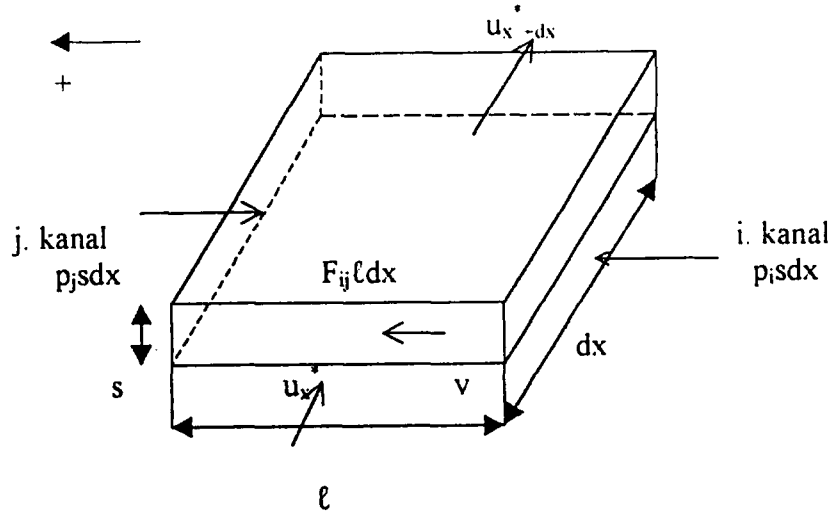
Komşu tüm altkanalları ve türbülanslı momentum faktörü  $-f_T$  de hesaba katılacak olursa eksenel momentum korunum denklemi aşağıdaki biçimini alır;

$$\begin{aligned} \frac{1}{A_i} \frac{\partial m_i}{\partial t} - 2u_i \frac{\partial \rho_i}{\partial t} + \frac{\partial p_i}{\partial x} = & - \left[ \frac{m_i}{A_i} \right]^2 \left[ \frac{V_i' f_i \phi_i}{2D_i} + \frac{K_i V_i'}{2\Delta x} + \frac{\partial V_i'}{\partial x} \right] - g\rho_i \cos \theta \\ & - f_T \sum_{j=1}^N (u_i - u_j) \frac{W_{ij}'}{A_i} + \sum_{j=1}^N (2u_i - u^*) \frac{W_{ij}}{A_i} \end{aligned} \quad (3.27)$$

Eksenel momentum denkleminin (3.27) sol tarafındaki terimler, eksenel basınç gradyanını ve zamana bağlı değişimlerini vermektedir. Denklemin sağ tarafı ise basınç gradyanının sürtünme, konuma bağlı ivmelenme ve yerçekim bileşenlerini vermektedir. Üçüncü terim türbülanslı yanal akışı hesaba katmaktadır ve komşu altkanallardaki hızları eşitlemektedir. Saptırıcı yanal akış terimi olan dördüncü terim ise altkanallardaki hız değişimleri nedeniyle oluşan momentum değişimlerini vermektedir.

### 3.7. Yanal Momentum Denklemi

Şekil 3.4 iki altkanal arasındaki yarığa yerleştirilmiş olan dikdörtgen biçimindeki bir kontrol hacmini göstermektedir. Yanal momentum denge denklemi oluşturulurken yanal yüzeylere giren ve bu yüzeyleri terk eden yanal yönde momentum akıları arasındaki farkların ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu gözönüne alınır. Eksenel hız yanında yanal hızın küçük olması varsayımı bu ihmalin yapılabilmesini sağlayan etkindir.



Şekil 3.4 Yanal Momentum Denklemi için Kontrol Hacmi [6,7].

Yanal akışın kanalı terk ettikten sonra yön hassasiyetini kaybetmesi varsayımı da dikkate alınarak, yanal doğrultudaki (şekil 3.4) kontrol hacmine momentumun korunumu denklemini uygularsak

$$-F_{ij}\Delta x l - p_j s \Delta x + p_i s \Delta x + (\rho^* s l u^* v)_x - (\rho^* s l u^* v)_{x+\Delta x} = \frac{\partial \rho^*}{\partial t} s l \Delta x v \quad (3.28)$$

elde edilir. Burada  $v$  yanal hız,  $u^*$  yanal kontrol hacmindeki etkin hız,  $p$  basınç,  $\rho^*$  saptırıcı yanal akış yoğunluğu (genellikle verici kanal akışkan yoğunluğu olarak alınır),  $s$  çubuklar arası mesafe (yarık eni),  $l$  yarıklar uzunluğu (yanal kontrol hacmi uzunluğu) ve  $F_{ij}$  ise yanal akış nedeniyle oluşan sürtünme ve form basınç kayıplarını temsil etmektedir.

Denklem (3.28)'de yer alan ilk terim sürtünme kayıplarını, sol taraftaki ikinci ve üçüncü terimler ise net basınç farkları nedeniyle oluşan kuvvet terimlerini göstermektedir.

$(\rho^* s l u^* v)_x$  yanal kontrol hacmine momentum girişini göstermektedir.

$(\rho^* s l u^* v)_{x+\Delta x}$  yanal kontrol hacmini terk eden momentumu göstermektedir. Denklem (3.28)'in sağ tarafı yanal momentumun birim zamanda değişimini vermektedir.

Denklem (3.28)'in her tarafı  $\Delta x$  ile bölünecek olursa;

$$-F_{ij}l - p_j s + p_i s = \frac{\partial \rho^*}{\partial t} s l v + \frac{(\rho^* s l u^* v)_{x+\Delta x} - (\rho^* s l u^* v)_x}{\Delta x} \quad (3.29)$$

$\Delta x \rightarrow 0$  için limit alınır;

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \left| \frac{(\rho^* s l u^* v)_{x+\Delta x} - (\rho^* s l u^* v)_x}{\Delta x} \right| = \frac{\partial (\rho^* s l u^* v)}{\partial x} \quad (3.30)$$

burada  $\rho^* s v = W_{ij}$  (denklem 3.31) olmak üzere,

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{(W_{ij} l u^*)_{x+\Delta x} - (W_{ij} l u^*)_x}{\Delta x} = \frac{\partial (W_{ij} l u^*)}{\partial x} \quad (3.32)$$

Denklem (3.29)'u 1 değerine bölüp denklem (3.32)'yi denklem (3.29)'a koyarsak

$$-F_{ij} + (p_i - p_j) \frac{s}{l} = \frac{\partial W_{ij}}{\partial t} + \frac{\partial W_{ij} u^*}{\partial x} \quad (3.33)$$

Denklem (3.33)'da bulunan  $F_{ij}$ , kararlı akıştaki yanal akış nedeniyle sürtünme ve form basınç kaybıdır ve genel eğilime uyarak;

$$p_i - p_j = \frac{K \rho^* V^2}{2} \quad (3.34)$$

yazılabilir, burada K yanal akış direnç faktörüdür ve input olarak verilebilmektedir. Yanal akışın durduğu dengeye ulaşmış bölgeler için denklem (3.33)'ün sağ tarafındaki iki terim sıfır olarak alınabilir ve  $F_{ij}$  için;

$$-F_{ij} + (p_i - p_j) \frac{s}{l} = 0 \quad (3.35)$$

buradan;

$$\frac{s}{l} \frac{k \rho^* v^2}{2} = F_{ij} \quad (3.36)$$

elde edilir. Denklem (3.36)  $\rho s^2$  ile çarpılıp bölünür ve denklem (3.31) denklem (3.36)'ya yerleştirilirse  $F_{ij}$  aşağıdaki biçimde elde edilir

$$F_{ij} = \left( \frac{s}{l} \right) \frac{K|W|W}{2s^2 \rho^*} \quad (3.37)$$

Denklem (3.37)'de K yanal basınç düşümünün hem sürtünme hem de kayıp bileşenlerini dahil etmektedir ve yanal akış direnç faktörü adıyla input olarak girilebilmektedir. Denklem (3.37)

$$F_{ij} = C_{ij} W_{ij} \left( \frac{s}{l} \right) \quad (3.38)$$

burada

$$C = \frac{K|W|}{2s^2 \rho^*} \quad (3.39)$$

Denklem (3.38)'i denklem (3.33)'e yerleştirecek olursak yanal momentum korunum denklemini aşağıdaki biçimi alacaktır

$$\frac{\partial W_{ij}}{\partial t} + \frac{\partial (u_{ij}^* W_{ij})}{\partial x} + \left( \frac{s}{l} \right) C_{ij} W_{ij} = \left( \frac{s}{l} \right) (p_i - p_j) \quad (3.40)$$

### 3.8 Akış ve Enerji Taşınımı İçin Nümerik Çözüm Algoritmaları

COBRA bilgisayar programlarının temeli, akış ve enerji taşınımını tanımlayan korunum denklemleri ve bu denklemleri çözmek için kullanılan nümerik metodlardır. Kütle, lineer momentum ve enerji korunumu Euler kontrol hacmi için yazılan denge denklemleri ile tanımlanır. Bu kurucu denklemler uygun sınır şartları ve kurucu ilişkilerle birlikte nümerik çözümün iskeletini oluşturur. Mümkün olan en geniş hesaplama yeteneğini sağlamak ve hesaplama yeteneklerinin verimli bir biçimde kullanımını sağlamak amacıyla COBRA-IV kodu iki nümerik metod kullanmaktadır. Bunlardan biri COBRA-IIIC kodunda da kullanılaben benzeyen kapalı bir teknik iken diğer teknik, açık metod, ise yenidir. Her iki algoritmanın da önemli bir fonksiyona sahip olmasıyla birlikte genel olarak kapalı yöntem zamandan bağımsız ve yavaş olan süreksizliklerin simülasyonunda kullanılmaktadır [9].

#### 3.8.1 Temel Denklemler

Matematik modelin temel denklemleri süreklilik, enerji ve momentum genel denklemlerinin altkanal kontrol hacmine uygulanmasıyla elde edilir. Bu denklemler, sırasıyla süreklilik-enerji-eksenel momentum-yanal momentum- denklemleri olmak üzere, kısaca tekrar özetlenecek olursa,

$$A \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial m}{\partial x} + [DC]^T w = 0 \quad (3.41)$$

$$A \frac{\partial \rho h}{\partial t} + \frac{\partial m h}{\partial x} + [DC]^T h^* w = q' \quad (3.42)$$

$$\frac{\partial m}{\partial t} + \frac{\partial m u}{\partial x} + [DC]^T u^* w + A \frac{\partial p}{\partial x} = F \quad (3.43)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial u^* w}{\partial x} + \frac{\partial v_y w}{\partial y} - [DC] p = c \quad (3.44)$$

Yukarıda verilen denklemlerde; [DC] yanal sonlu fark işlemini gerçekleştiren bir matris operatörünü, [DC]'nin transpozesi olan [DC]<sup>T</sup> fark almak yerine toplama işlemini gerçekleştiren bir operatörü, F eksenel sürtünme ve yerçekimini, c yanal sürtünme kuvvetini ve q' ise tüm kaynaklardan gerçekleşen ısı transferini göstermektedir [9].

### 3.8.2 Kapalı Nümerik Çözüm

Kapalı çözüm metodu COBRA-IIIC'de kullanılan metoda oldukça benzerdir. Değişim denklemleri parçalı parametre sonlu fark teknikleri kullanılarak çözülür. Sunulan düzenlemede iki yeni parametre [S] ve [DW]<sup>T</sup> eklenmiştir. [S] operatörü iki değişkenin farkını almak yerine bu değişkenleri toplamayı hariç [DC] operatörüne benzerdir. [DW]<sup>T</sup> operatörü [DC]<sup>T</sup> operatörü ile aynı fonksiyonu yürütür ancak [DC]<sup>T</sup> altkanalları bağlantıları ile düzenlerken, [DW]<sup>T</sup> altkanalları ve termal ilişkili kanalları bağlantılarıyla düzenlemektedir.

COBRA-IV-I sonlu fark formülasyonları kısaca özetlenecek olursa sırasıyla süreklilik, enerji, eksenel momentum ve yanal momentum için aşağıdaki denklemler elde edilir [9]:

$$\frac{A_j(\rho_j - \bar{\rho}_j)}{\Delta t} + \frac{m_j - m_{j-1}}{\Delta x} = -[DC]^T w_j \quad (3.45)$$

$$\begin{aligned} & \frac{A' \bar{\rho}(h_j - \bar{h}_j)}{\Delta t} + \frac{m_{j-1}(h_j - h_{j-1})}{\Delta x} + [DC]^T h_j^* w_j - h_j [DC]^T w_j \\ & + [DC]^T w' [DC] h_j + [DC]^T c [DC]_j^T + [DW]^T U_w (T_{w_j} - T_j) = Q_A + q' \end{aligned} \quad (3.46)$$

$$\begin{aligned} p_j = p_{j-1} + \Delta x & \left\{ - \left( K_L + \frac{(v'_j / A_j - v'_{j-1} / A_{j-1}) m_{j-1}^2}{A' \Delta x g_c} \right) - \rho \cos \theta - [DC]^T w' [DC] \mu_j \right. \\ & \left. + \frac{\rho_j - \bar{\rho}_j}{g_c \Delta t} \left( \frac{\Delta x}{\Delta t} + 2m^+ (v'_j / A_j) + K_L 2m^+ A' \Delta x \right) + \frac{1}{A' g_c} \frac{(\bar{m}_j - m_{j-1})}{\Delta t} \right\} \\ & + \Delta x \left[ \left( \frac{\Delta x}{\Delta t} [DC]^T - [DC]^T u_j^* \right) \frac{1}{A'} + \left( K_L \Delta x + \frac{v'_j / A_j}{A'} \right) 2m^+ [DC]^T \right] w_j \end{aligned} \quad (3.47)$$

Denklem (3.47)'de geçen bazı terimler aşağıda tanımlanmıştır;

$$K_L = \frac{v_L f}{A_j^2 2D} + \frac{K v'}{A_j^2 2\Delta x} \quad (3.47a)$$

$$u_j = \frac{m_j y'_j}{A_j} \quad (3.47b)$$

$$m^+ = \frac{(m_j + m_{j-1})}{2} \quad (3.47c)$$

$$A' = \frac{(A_j + A_{j-1})}{2} \quad (3.47d)$$

$$\frac{w_j - \bar{w}_j}{\Delta t} + \frac{u_j^* w_j - u_{j-1}^* w_{j-1}}{\Delta x} + \frac{s}{l} [S \llbracket DC \rrbracket^T w_j^2 \frac{\cos \theta}{\rho^* s^2} + \frac{s}{l} [DC] p_{j-1}] \quad (3.48)$$

### 3.8.3 Açık Nümerik Çözüm

Geçici rejim hesaplamalarında kapalı çözüm metoduna bir alternatif olarak yeni bir açık çözüm metodu geliştirilmiştir. Açık çözüm metodu, akışın tersine dönüşü ve yeniden dolaşımı gibi geçici rejimlerin hesaplanmasına imkan tanımaktadır.

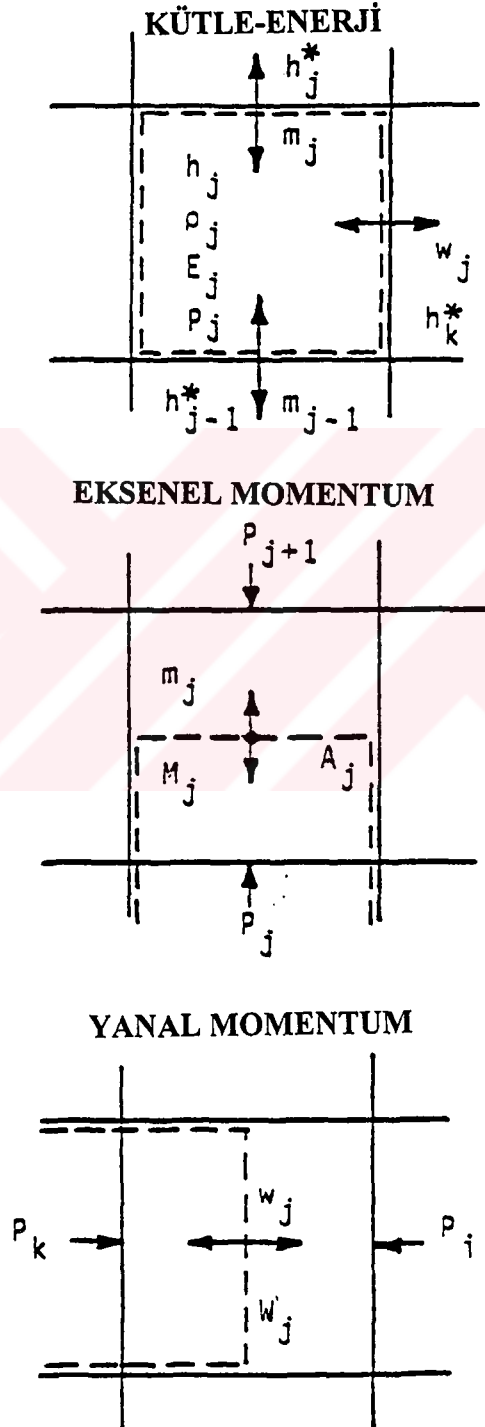
Açık çözüm metodunda temel korunum denklemleri Şekil 3.5'de gösterilen hesaplama hücreleri için yazılır. Sırasıyla süreklilik, enerji, aksenal momentum ve yanal momentum için aşağıdaki denklemler elde edilir [9]:

$$A \Delta x \frac{\partial \rho}{\partial t} + [DC]^T w_j^{n+1} \Delta x + m_j^{n+1} - m_{j-1}^{n+1} = E_j^{n+1} \quad (3.49)$$

$$A \Delta x \frac{\partial \rho h}{\partial t} + [DC]^T h_k^* w_j^{n+1} \Delta x + m_j^{n+1} h_j^* - m_{j-1}^{n+1} h_{j-1}^* = Q_j \quad (3.50)$$

$$m_j^{n+1} = m_j^n - \Delta t M_j - A \frac{\Delta t}{\Delta x} g_c (p_{j+1}^{n+1} - p_j^{n+1}) \quad (3.51)$$

$$w_j^{n+1} = w_j - \Delta t w_j + \frac{S}{l} g_c \Delta t [DC] p_j^{n+1} \quad (3.52)$$



Şekil 3.5 Kütle, enerji ve momentum için korunum hücreleri (kesikli çizgiler kütle-enerji hücresinin pozisyonunu göstermektedir).

## 4. ELE ALINAN PROBLEMLER

### 4.1. Normal Operasyon Koşulları

Yapılan bu çalışmada ele alınan en temel durum Westinghouse (Sequoyah) tipi bir basınçlı su reaktörünün (PWR) normal operasyon sırasında temel termal hidrolik parametrelerinin incelenmesidir. Normal operasyon koşullarının en genel anlamda ne olduğunu bilmek çalışmanın başlangıç noktasını oluşturmaktadır. Sequoyah tipi bir nükleer reaktör iki adet soğutucu döngüsüne sahiptir. Hem birincil hem de ikincil soğutma devresinde H<sub>2</sub>O (adi su) kullanılmaktadır. Böyle bir reaktörün termal gücü 3411 MW(th) iken %33.5'lik termal verim ile bu reaktörden elde edilen net elektrik gücü 1148 MW(e) olmaktadır. Reaktörde açığa çıkan nükleer enerji, 286°C'lik bir sıcaklıkta 17.4 Mg/saniye'lik kütsel debi ile reaktör koruna giren suya aktarılmakta ve su reaktör korunu ortalama olarak 324°C'lik bir sıcaklıkla terk etmektedir. Normal operasyon koşullarında bizim için önemli olan datalardan biri de sistemin çalışma basıncıdır; sözkonusu reaktörde çalışma basıncı 324°C'deki suyun kaynamasının önleildiği 15.5 MPa'dır. Yukarıda temel termal hidrolik değerleri verilen bu reaktör nominal gücünde çalışırken normal operasyon altındadır denebilir. Çalışmada termal hidrolik özellikleri kullanılan reaktörün ayrıntılı termodinamik çevrim, termal hidrolik ve yakıt özellikleri Tablo 4.1, Tablo 4.2 ve Tablo 4.3 içinde verilmiştir. Normal operasyon durumu, reaktörü işletmeye alma, işletmeden çıkarma vb. durumlar hariç reaktörün zamandan bağımsız (steady state) biçimde çalıştığı bir durumdur. Yukarıda açıklanan bu değerler COBRA bilgisayar kodunun “anlayacağı” bir dile çevrildiği kartlara girilmiştir. COBRA kodu ise akışkanın kanal boyunca sıcaklığını, akışkanın kanal boyunca hız değişimini, akışkanın kanal boyunca ortalama yoğunluğunu, yakıt çubuklarının merkez sıcaklığını ve zarf sıcaklığını vermektedir. Örnek olarak seçilen bu güç reaktörü uzun zamandan beri çalışan bir reaktör tipini temsil etmektedir. Ancak, son model AP-600'de dahi aynı yakıt demetlerinin kullanılıyor olması yapılan hesap sonuçlarının yeni reaktörler içinde geçerli olduğunun kanıtıdır.

Çalışmanın bu bölümünde yukarıda verilen datalardan elde edilen veriler doğrultusunda COBRA-IV-I PC versiyonunda bir giriş kartı oluşturulmuştur. Herbir kartla ilgili ayrıntılı tanımlamaların Ek-A içinde yer almasına karşın burada, kullanılan kartlar hakkında kısa bilgi verilecektir.

Tablo 4.1 Sequoyah Nükleer Reaktörünün Tipik Termodinamik Çevrim Karakteristikleri [2].

| Referans Dizayn                | PWR (W)              |
|--------------------------------|----------------------|
| Üretici                        | Westinghouse         |
| Sistem (Reaktör İstasyonu)     | Sequoyah             |
| Buhar Çevrimi                  |                      |
| Soğutucu Sistem Sayısı         | 2                    |
| Birincil Soğutucu              | H <sub>2</sub> O     |
| İkincil Soğutucu               | H <sub>2</sub> O     |
| Enerji Dönüşümü                |                      |
| Ana Termal Güç, MW (th)        | 3411                 |
| Net Elektrik Gücü, MW (e)      | 1148                 |
| Verim (%)                      | 33.5                 |
| Isı Taşıma Sistemi             |                      |
| Birincil Döngü ve Pompa Sayısı | 4                    |
| Ara Döngü Sayısı               | -                    |
| Buhar Üretici Sayısı           | 4                    |
| Buhar Üretici Tipi             | U Tipi               |
| Termal Hidrolik                |                      |
| Birincil Soğutucu              |                      |
| Basınç (MPa)                   | 15.5                 |
| Giriş Sıcaklığı (°C)           | 286                  |
| Ortalama Çıkış Sıcaklığı (°C)  | 324                  |
| Kor Akış Debisi (Mg/saniye)    | 17.4                 |
| Hacim (L) veya Kütle (kg)      | 3.05x10 <sup>5</sup> |
| İkincil Soğutucu               |                      |
| Basınç (MPa)                   | 5.7                  |
| Giriş Sıcaklığı (°C)           | 224                  |
| Çıkış Sıcaklığı (°C)           | 273                  |

Önceki paragrafta da belirtildiği gibi çalışmada ele alınan reaktör tipinde hem soğutucu hem de moderatör olarak su kullanılmaktadır. Bu çalışmada suyun soğutucu özelliği ve kullanımı önemli olduğundan COBRA'nın ilk istediği bilgi olan suyun termodinamik özellikleri girilmiştir. Bu tabloda ilgili aralık dahilindeki sistem basıncı, sıcaklık, sıvı özgül hacmi, buhar özgül hacmi, sıvı entalpisi, buhar entalpisi, sıvı viskozitesi, sıvı termal iletkenliği ve yüzey gerilmesi gibi suyun çeşitli termofiziksel özellikleri girilmiştir. Termofiziksel özellikler burada incelenen durumlara bağımlılık göstermediğinden bu kart diğer durumlardaki kartlarla aynıdır.

Tablo 4.2 Sequoyah Nükleer Reaktörünün Tipik Yakıt Karakteristikleri [2].

| Referans Dizayn              | PWR (W)                              |
|------------------------------|--------------------------------------|
| Üretici                      | Westinghouse                         |
| Sistem (Reaktör İstasyonu)   | Sequoyah                             |
| Moderatör                    | H <sub>2</sub> O                     |
| Yakıt Üretimi                | Dönüştürücü                          |
| Yakıt                        |                                      |
| Parçacıklar                  |                                      |
| Geometri                     | Silindirik Pelet                     |
| Boyutlar (mm)                | 8.2D x 13.5H                         |
| Kimyasal Biçim               | UO <sub>2</sub>                      |
| Fisil Atom Oranı (% ağırlık) | 2.6 U <sup>235</sup>                 |
| Üretken Atom                 | U <sup>238</sup>                     |
| Yakıt Çubukları              |                                      |
| Geometri                     | Zarf Tüpü İçine İstiflenmiş Peletler |
| Boyutlar (mm)                | 9.5D x 4mH                           |
| Zarf Malzemesi               | Zirkalay-4                           |
| Zarf Kalınlığı (mm)          | 0.57                                 |
| Yakıt Demetleri              |                                      |
| Geometri                     | 17 x 17 kare çubuk dizisi            |
| Çubuk Aralığı (mm)           | 12.6                                 |
| Çubuk Konum Sayısı           | 389                                  |
| Yakıt Çubuğu Sayısı          | 264                                  |
| Dış Boyutlar (mm)            | 214                                  |
| Kanal                        | Hayır                                |
| Toplam Ağırlık (kg)          | -                                    |

İkinci kartda ise türbülanslı sürtünme faktör katsayıları koda girilmiştir. Reaktördeki akış türbülanslı akıştır, yapılan analitik hesaplarda Re sayısı  $4.68 \times 10^5$  civarında olduğundan buradaki  $f = AA(Re)^{BB} + CC$  formundaki korelasyonda  $AA = 0.184$  ve  $BB = -0.2$  ve  $CC = 0.0$  olan McAdams [2, bakınız s.379] yaklaşımı kullanılmıştır.

Üçüncü kartda ise ısı akısı dağılımı koda girilmiştir. Normal operasyon şartları altındaki durum, hem ortalama ısı akısı dağılımına sahip bir kanal için hem de tepe faktörüne (Power Peaking Factor) sahip bir kanal için ayrı ayrı incelenerek, her iki durum için aynı termal hidrolik dataların grafikleri alınmıştır. Burada girilen ısı akı dağılımı sinüsoidaldir ve ısı akısı herbir eksenel düğümüne karşı oranlı olarak girilmiştir.

Dördüncü kartda ise nominal altkanal alanı, nominal ıslak çevre, nominal ısıtılmış çevre dataları ve kanal komşulukları tanımlanmıştır. Yine bu kartda yanal akış açıları da tanımlanmıştır.

Sekizinci kartda ise yakıt çubuğu sayısı ve yakıt özellikleri girilmiştir. Yine bu kartda çubukların kanallara yaptığı “ısı katkısı” tanımlanmıştır. Burada kullanılan kritik ısı akısı korelasyonu ise W-3 olarak seçilmiştir. Bütün bunlara ek olarak malzeme özellikleri olan yakıtın termal iletkenliği, yakıtın özgül ısınma ısısı, yakıt yoğunluğu, yakıt çapı, zarf termal iletkenliği, zarfın özgül ısınma ısısı, zarf yoğunluğu, zarf kalınlığı, yakıt-zarf boşluk iletkenlik katsayısı yine sekizinci kartda girilmiştir.

Dokuzuncu kartda ise çıktı yazım opsiyonları ve eksenel düğüm sayısı ile toplam kanal uzunluğu girilmiştir.

Onbirinci kartda ise sistem basıncı, giriş entalpisi, giriş kütle akısı, ortalama ısı akısı gibi parametreler girilmiştir.

Yine yukarıda belirtilen sözkonusu kartların kullanımı için gerekli olan bazı fiziksel büyüklük ve özelliklerin de bilinmesi gerekir. Sequoyah tipi bir basınçlı su reaktöründe kullanılan pinler 9.5 mm çapında olup kanal uzunluğu 4 m’dir ancak bizim için önemli olan aktif kanal uzunluğu olduğundan bu değer 3.66 m olarak alınmıştır. Zirkalay-4’ün zarf malzemesi olarak kullanıldığı bu reaktörlerde zarf kalınlığı 0.57 mm olup kullanılan yakıt  $U^{235}$  atomları açısından %2.6 zenginleştirilmiş  $UO_2$  kimyasal formundaki yakıttır.

Tablo 4.3 Sequoyah Nükleer Reaktörünün Tipik Kor Termal Performans Karakteristikleri [2].

| Referans Dizayn                            | Westinghouse-Sequoyah PWR (W)        |
|--------------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Kor</b>                                 |                                      |
| <b>Eksen</b>                               | Yatay                                |
| <b>Yakıt Demet Sayısı</b>                  |                                      |
| <b>Eksenel</b>                             | 1                                    |
| <b>Radyal</b>                              | 193                                  |
| <b>Demet Aralığı (mm)</b>                  | 215                                  |
| <b>Aktif Yakıt Yüksekliği (m)</b>          | 3.66                                 |
| <b>Eş Çap (m)</b>                          | 3.37                                 |
| <b>Toplam Yakıt Ağırlığı (ton)</b>         | 101 UO <sub>2</sub>                  |
| <b>Reaktör Kazanı</b>                      |                                      |
| <b>İç Boyutlar (m)</b>                     | 4.83D x 13.4H                        |
| <b>Duvar Kalınlığı (mm)</b>                | 224                                  |
| <b>Malzeme</b>                             | Paslanmaz Çelik Zarflı Karbon Çeliği |
| <b>Diğer Özellikler</b>                    |                                      |
| <b>Ortalama Kor Güç Yoğunluğu (kW/L)</b>   | 105                                  |
| <b>Lineer Isı Akısı</b>                    |                                      |
| <b>Kor Ortalama (kW/m)</b>                 | 17.8                                 |
| <b>Kor Maksimum (kW/m)</b>                 | 42.7                                 |
| <b>Performans</b>                          |                                      |
| <b>Denge Yanması (MWD/T)</b>               | 27500                                |
| <b>Demetin Korda Ortalama Kalma Süresi</b> |                                      |
| <b>Yeniden Yakıt Yükleme</b>               |                                      |
| <b>Sıra</b>                                | Her Yıl 1/3                          |
| <b>Hizmet Dışı Kalma Süresi (gün)</b>      | 30                                   |

COBRA-IV-I PC versiyonunun verdiği sonuçlar grafikleştirilmiş ve bunlar Ek-B bölümünde verilmiştir. Söz konusu grafiklerde reaktör normal operasyon şartları altında iken ortalama ısı akısına sahip bir kanal için akışkan sıcaklığının akış kanalı boyunca değişim grafiği, yine ortalama bir kanalda yer alan yakıt çubuğu için zarf sıcaklığının akış kanalı boyunca değişimi alınmıştır. Sıcak kanal için ise daha çok parametrenin grafiği alınmıştır. Sıcak kanal için; akışkan yoğunluğunun akış kanalı

boyunca değişimi, akış hızının akış kanalı boyunca değişimi ve yakıt merkez sıcaklığının yine akış kanalı boyunca değişimi elde edilmiştir. Normal alışma koşulları için son grafik ise sıcak kanal için DNBR oranının akış kanalı boyunca değişimini veren grafiktir. Karşılaştırma yapılabilmesi açısından bir sonraki bölümde incelenecek olan tıkanma durumu için yine aynı parametrelerin grafikleri elde edilmiş böylece yorumda hem kolaylık hem de güvenilirlik sağlanmıştır. Bu grafiklerle ilgili yorum beşinci bölümde verilmiştir.

#### **4.2. Akış Kanalında Tıkanma**

Çalışmanın giriş bölümünde de belirtildiği üzere kanal tıkanması, nükleer reaktörlerde karşılaşılabilen bir durumdur. Böyle bir durum gerçekleştiğinde akışın olduğu kesit altında daralma gerçekleşmekte bu da bu bölgede bulunan yakıt çubuklarında yerel sıcaklık yükselmelerine neden olmaktadır.

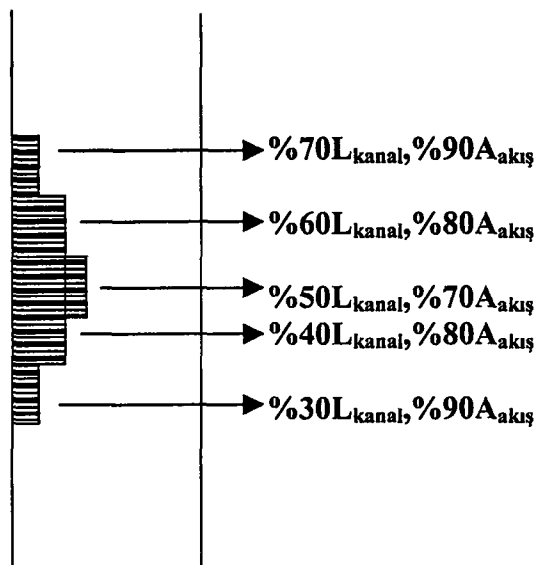
Meydana gelebilecek olan tıkanamalar reaktör içindeki herhangi bir parçanın kopup yakıt demet girişi veya yakıt kanalları boyunca akışı engellemesi biçiminde olabileceği gibi, yakıt çubuklarının şişmesi, bükülmesi veya kavis kazanaması gibi nedenlerle de gerçekleşebilir. Özellikle gerçekleşmesi beklenen durum ikinci olarak bahsedilen yakıt çubuklarının şişmesi, bükülmesi veya kavis kazanmasıdır, diğer durum yani herhangi bir parçanın kopup yakıt demeti girişini tıkaması veya yakıt kanallarındaki akışı engellemesi olağanüstü bir durumdur ve bir “kaza” durumu olarak değerlendirilebilir.

Yakıt ubuklarında meydana gelen fisyon olayı sonucu çubukların içinde çok çeşitli fisyon ürünleri bulunmaktadır. Bu rnlerin önemli bir bölümünü de gaz halindeki fisyon ürünleri oluşturmaktadır. Bilindiği gibi basınçlı su reaktörlerinde sistem basıncı oldukça yüksek bir değer olan 15.5 MPa gibi yüksek değerlere ulaşmaktadır. Soğutucu-moderatörün bu yüksek basınç nedeniyle yakıt çubukları üzerindeki etkisini nispeten azaltmak için yakıt çubukları üretilirken yaklaşık olarak 3.4 MPa basına sahip Helyum gazı ile doldurulur. Fisyon ürünü gazlar oluştukça korun hayatı süresince yakıt çubukları içindeki bu basınç yavaş yavaş 14 MPa kadar yüksek bir basına ulaşabilmektedir [5]. İşte bu nedenlerle yakıtta bükülmeler ve eğilmeler meydana gelir. Çalışmanın bu bölümünde böyle bir durumun meydana geldiği yakıt çubuğu bölgesinde akışkan sıcaklığı, zarf sıcaklığı gibi reaktör güvenliği açısından

önemli olan bu parametrelerin bu durumdan nasıl etkilendiği araştırılmıştır. Bu araştırma yapılırken kanal kesit alanının kanal boyunca sürekli azalarak normal kesit alanının %30'una kadar düşmesi öngörülmüş bu noktadan sonra ise yine sürekli olarak artarak eski haline geldiği varsayılmıştır.

Çalışmada kullanılan kartlar bir önceki bölümde normal operasyon şartları için kullanılan kartlarla aynıdır ancak altkanal alan değişim kartı olan beşinci karta alan değişimi verilmiştir. Bu değişim kanal uzunluğunun %30'unda akış alanının normal alanın %90'ını boyunca devam etmesiyle başlamış ve kanal yarısına ulaşıldığında normal kesit alanının %70'ine düşmesiyle maksimum değerine ulaşmıştır. Bu noktadan sonra ise yine aynı biçimde kanal kesit alanı sürekli olarak artarak kanalın %80 uzunluğunda normal değerine sahip olmuştur (bakınız Şekil 4.1).

COBRAIV-I PC versiyonunun verdiği sonuçlar grafikleştirilmiş ve bunlar Ek-B'de verilmiştir. Yukarıda sözü edilen grafiklerde akış kanalında meydana gelen tıkanma durumunda (bakınız Şekil B.9) ortalama ısı akısına sahip bir kanal için akışkan sıcaklığının akış kanalı boyunca değişim grafiği, yine ortalama bir kanalda yer alan yakıt çubuğu için zarf sıcaklığının akış kanalı boyunca değişimi alınmıştır. Sıcak kanal ise tıkanma durumunda daha da önem kazanmaktadır. Sıcak kanalda akışkan yoğunluğunun tıkanmış olan akış kanalını boyunca değişimi, akış hızının tıkanmış olan akış kanalı boyunca değişimi ve yakıt merkez sıcaklığının yine tıkanmış olan akış kanalı boyunca değişimi elde edilmiştir. Bu grafiklerle ilgili yorum beşinci bölümde verilmiştir.

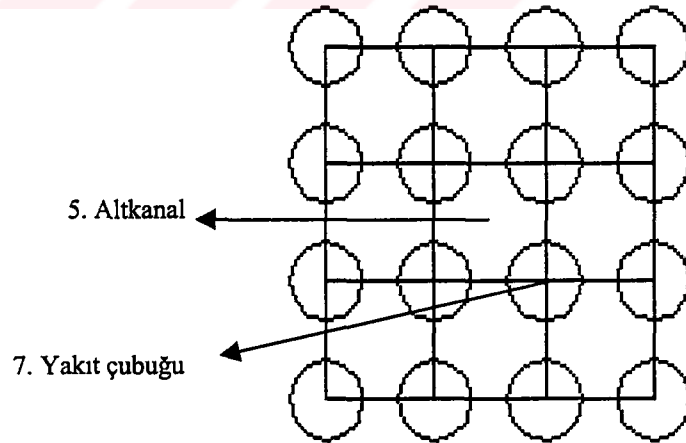


Şekil 4.1 Akış kanalı tıkanmasında kesit alanı değişimi (burada  $L_{kanal}$  kanal uzunluğunu,  $A_{akış}$  ise nominal akış alanını göstermektedir).

## 5. COBRA-IV-I PC VERSİYONU SONUÇLARI VE YORUM

### 5.1 Sonuçlar

Westinghouse firmasının ürettiği bir basınçlı su reaktöründen elde edilen sistem basıncı, akışkan giriş sıcaklığı, kor akış hızı, yakıt çubuk geometrisi, boyutları ve malzeme özellikleri COBRA-IV-I koduna input olarak girilmiş ve bu koşullara ilişkin kodun elde ettiği sonuçlara varılmıştır (reaktör parametreleri 4. Bölümde Tablo 4.1, 4.2 ve 4.3'te verilmiştir). Gerçekte bu tip bir reaktörde 17x17'lik kare yakıt çubuğu dizilimi bulunmasına karşın hem hesaplama yükünü azaltması hem de kolaylık olması bakımından 4x4'lük (bakınız Şekil 5.1) yakıt dizilimi seçilmiştir. Şekil 5.1'de de görüldüğü üzere böyle bir dizilim 9 adet akış kanalı ve 16 adet yakıt çubuğundan oluşmaktadır. Tüm sonuçlar karşılaştırma yapılabilmesi bakımından 5. altkanal ve 7. yakıt çubuğu için elde edilmiştir.



Şekil 5.1 COBRA kodunda çalışmada kullanılan yakıt modeli (Yakıt çubuk sıralaması sol en alttan birinci yakıt olarak başlayıp soldan sağa numaralanmaktadır, altkanallar ise sol en alt birinci altkanal olarak başlayıp yine soldan sağa artmaktadır).

COBRA bilgisayar kodunun vermiş olduğu dataların grafiklere dökülmesi önemli bir noktadır. Herşeyden önce COBRA bilgisayar kodu İngiliz birim sistemini kullanmaktadır, bu nedenle kodun verdiği değerler öncelikle SI birimlerine çevrilmelidir. Bu dönüştürme kısa Fortran 77 (f77L Lahey Versiyonu) programları yazılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada genel olarak ortalama bir kanal için akışkan sıcaklığı ve yakıt zarf sıcaklığı hem normal çalışma hem de tıkanma durumu için grafiğe alınmış iken, sıcak kanal için yine akışkan sıcaklığı, yakıt zarf sıcaklığı ve bunlara ek olarak akışkan yoğunluğu, akışkan hızı, yakıt merkez sıcaklığı ve DNBR oranı elde edilmiştir. Kanal tıkanması ise sıcak kanala uygulanmış ve bu durum da ayrı bir grafikte tanımlanmıştır.

Ortalama bir kanalda 286°C'lik sıcaklıkla reaktöre giren akışkan sıcaklığının yaklaşık olarak 306.9°C'lik bir sıcaklıkla reaktörü terk ettiği gözlenmiştir (bakınız Şekil B.1). Nükleer güvenlikte oldukça önemli bir yeri olan zarf sıcaklığı ise yine ortalama kanal için 315.5°C'lik maksimum bir sıcaklık değerine sahip olmuştur (bakınız Şekil B.2). Reaktörlerde sözkonusu olan güç tepe faktörü (Power Peaking Factor) nedeniyle sözkonusu olan sıcak kanalda ise, akışkan sıcaklığı 311°C'lik bir değere sahip olarak reaktörü terketmiş (bakınız Şekil B.3), yine bu kanaldaki zarf sıcaklığı da 321.4°C'lik maksimum sıcaklığa sahip olmuştur (bakınız Şekil B.6). Hem ortalama kanalda hem de sıcak kanalda beklendiği gibi herhangi bir kaynama olayı gözlemlenmemiştir. Bu nedenle her iki durumda da iki fazlı akış sözkonusu değildir.

Sıcak kanalda elde edilen grafik sayısı önceki bölümlerde de belirtildiği gibi daha fazladır, bunun esas nedeni nükleer güvenlik açısından daha yüksek sıcaklıkların bulunduğu kanalların daha önemli olmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle sıcak kanal ilişkin olarak akışkan yoğunluğunun kanal boyunca değişimi, akışkan hızının kanal boyunca değişimi, yakıt merkez sıcaklığı ve sıcak kanal için DNBR grafikleri elde edilmiştir. Akışkan yoğunluğu kanal boyunca azalmakta ve kanal çıkışında 688.2 kg/m<sup>3</sup> değerine ulaşmaktadır (bakınız Şekil B.4). COBRA sonuçlarında akış daralmasında sıcak kanalda herhangi yerel bir kaynama olayı gözlenmemiştir. Yine bu kanalda akışkan hızı sürekli olarak artarak yaklaşık 566.9 cm/s'lik bir hıza ulaşmaktadır (bakınız Şekil B.5). Bir başka incelenen parametre ise yakıt merkez

sıcaklığıdır ki bu eğri beklendiği gibi parabolik olarak elde edilmiştir (bakınız Şekil B.7) ve maksimum sıcaklık kanalın %55'inde 1009,4°C olarak kaydedilmiştir. Tıkanma durumu ile normal çalışma şartlarının yakıt merkez sıcaklığı üzerine büyük bir etkisi olmadığı söylenebilir çünkü her iki durumda da maksimum sıcaklıklar 1000°C civarında olmuştur. İki durum arasındaki fark olsa olsa grafik biçimlerinde sözkonusudur. Sıcak kanalda son olarak DNBR oran grafiği elde edilmiştir. DNBR değerinin sıcak kanal için 8.275 değerinden daha düşük bir değere sahip olmadığı gözlenmiştir (bakınız Şekil B.8).

Akış kanalında meydana gelebilecek tıkanma durumu kanalın en fazla %30'unun tıkanacak biçimde öngörülmüştür (bakınız Şekil B.9). Bunun nedeni daha önce belirtildiği gibi COBRA kodunun %30'dan daha büyük tıkanmalarda yanlış sonuç vermesidir. Böyle bir tıkanma normal çalışma şartları altında fisyon sonucu oluşan fisyon gazlarının yakıt iç basıncını artırarak yakıtın şişmesinden ve şekil değiştirmesinden kaynaklanabilir ki bu tıkanma, reaktörün çalışma şartlarının simüle edilmesi için çok daha uygundur. Ortalama bir kanalda reaktöre 286°C'lik bir sıcaklıkla giren akışkan sıcaklığının tıkanma durumunda yaklaşık olarak 308.6°C'lik bir sıcaklıkla reaktörü terk ettiği gözlenmiştir (bakınız Şekil B.10). Nükleer güvenlikte oldukça önemli bir yeri olan zarf sıcaklığı ise yine ortalama kanal için 315.9°C'lik maksimum bir sıcaklık değerine sahip olmuştur (bakınız Şekil B.11). Reaktörlerde sözkonusu olan güç tepe faktörü (Power Peaking Factor) nedeniyle sözkonusu olan sıcak kanalda ise, akışkan sıcaklığı 312.8°C'lik bir değere (bakınız Şekil B.12), zarf sıcaklığı da 321.8°C'lik maksimum sıcaklığa sahip olmuştur (bakınız Şekil B.15). Böyle bir durumda önemli bir parametre olan DNBR oranı minimum olarak 8.445 değerine düşmüştür (bakınız Şekil B.17). Kanalın %30'unun tıkanmasına karşın bu durumda da herhangi bir yerel kaynama sözkonusu olmamıştır ve iki fazlı akış bu nedenle gerçekleşmemiştir.

Kanal tıkanması durumunda da akışkan yoğunluğu yine normal operasyonda olduğu gibi azalmakta ancak bu defa 683.7 kg/m<sup>3</sup>'lük değere ulaşmaktadır (bakınız Şekil B.13). Bunun dışında tıkanmanın akışkan yoğunluğuna büyük bir etkisi görülmemiş, elde edilen dataların dağılımı benzer biçimde olmuştur. Bütün bunlara karşın belki de en belirgin değişim akışkan hız grafiğinde elde edilmiştir. Bu grafikde, akışkan hızı

maksimum tıkanmanın olduğu bölgede minimum değeri olan yaklaşık 494.5 cm/s değerine ulaşmıştır (bakınız Şekil B.14). Tıkanmanın en belirgin etkisi akış hızı üzerine olmuştur. Yakıt merkez sıcaklığında daha önce de bahsedildiği gibi büyük bir değişim gerçekleşmemiştir (bakınız Şekil B.16). Yakıt merkez sıcaklığı genel olarak benzer değerlerini korumuş ancak bazı küçük yerel değişimler gerçekleşmiştir. Yakıt merkez sıcaklığı maksimum değerine yine kanalın %55'inde ulaşmış ve bu değer öncekine göre daha düşük bir değer olan 1000.8°C'ye inmiştir.

## 5.2. Yorum

Burada yapılan çalışmada Westinghouse (Sequoyah) tipi bir basınçlı su reaktörünün (PWR) COBRA-IV-I bilgisayar kodu ile akışkan giriş çıkış sıcaklıkları, zarf sıcaklığı, yakıt çubuğu merkez sıcaklığı, akışkan yoğunluğu, akışkan hızı, DNBR parametreleri gibi başlıca termal hidrolik özelliklerinin incelenmesi ve akış kanalının tıkanması durumunda bu parametrelerin nasıl değiştiği incelenmiştir.

Çalışmada yapılan analiz esas olarak temel termal hidrolik parametrelerin incelenmesini kapsamaktadır, ancak elde edilen sonuçlar nükleer güvenlik konusunda da yorum yapılmasına imkan tanımaktadır. Normal çalışma şartlarında en önemli iki parametre olan akışkan sıcaklığı ve yakıt zarf sıcaklığı nükleer mühendislikte “makul” olarak nitelendirilebilecek değerlerdedir. Ortalama bir kanal ile sıcak bir kanal arasındaki akışkan sıcaklık farkının 4.1°C olması normal olarak kabul edilebilir. Yine ortalama bir kanal ile sıcak bir kanal arasında zarf sıcaklık farkı 6.4°C'dir ve normal sınırlar içindedir. Güç faktörünün yansıması kendini daha çok zarf sıcaklığında göstermektedir. Bu analizden çıkan diğer bir sonuç ise nükleer güvenlik bakımından önemli olanın sıcak kanaldaki parametreler olduğudur çünkü eğer sıcak kanalda güvenlik sınırları zorlanmıyorsa diğer kanallarda zaten bu değerlere yaklaşamayacaktır.

Ortalama bir kanal için, kanal akışı kesit alanının %30'luk bir tıkanmaya maruz kalması durumunda ise akışkan sıcaklığı 1.7°C'lik bir artış göstermiştir. Yine zarf sıcaklığı da ancak 0.4°C'lik bir artış göstermiştir ki bu durum nükleer güvenlik açısından herhangi bir tehlike oluşturmadığı gibi buradan böyle bir tıkanmanın akışkan ve zarf sıcaklığı üzerine çok “etkili” olmadığı kanısına varılabilir. Bununla

beraber, kanal tıkanması durumunda akışkan sıcaklığında daha belirgin bir artış gözlemlenmiştir. Tıkanma durumunda sıcak kanalda akışkan sıcaklığı  $1.8^{\circ}\text{C}$ 'lik bir artış gösterirken aynı kanalda zarf sıcaklığı  $0.4^{\circ}\text{C}$ 'lik bir artış sergilemiştir. Bu da tıkanma durumunda ister ortalama ister sıcak kanal olsun sıcaklık artışlarının neredeyse “aynı” olduğunu göstermektedir. Bütün bu değerler akış kanalının %30'unun tıkanması durumunda nükleer güvenlik açısından tehlikeli bir durumun yaşanmayacağını göstermektedir.

Tıkanmanın en belirgin etkisi akışkan hızında gerçekleşmiş ve bu durumda akış hızında büyük azalmalar gözlemlenmiştir bu durum akış kanalın kesit alanının daralmasıyla açıklanabilir. Bunun yanında akış yoğunluğu bir miktar azalmıştır. DNBR oranı ise yaklaşık olarak aynı değerlere sahip olmuştur.

Bölüm 4.1'de verilen tablolara dikkat edilecek olursa kor giriş çıkış sıcaklıklarının COBRA'dan elde edilen değerlerle farklılık arzettiği belirlenebilir. Bunun esas nedeninin çubuklar için verilen PPF (Rod Peaking Factor) değerinin bu çalışmada hesaba katılmaması olduğu düşünülmektedir. Ayrıca yakıt modellemesinin 4x4 biçimde alınması da sonucu etkilemiş olabilir. Bütün bunların dışında reaktördeki durumun tam olarak simüle edilmesi COBRA ile mümkün olmayabilir bunun için lisanlamada da kullanılan RELAP kodunun daha iyi sonuçlar vereceğine inanılmaktadır.

## KAYNAKLAR

- [1] **Tong L.S. and Weisman Joel** , 1979. Thermal Analysis of Pressurized Water Reactors, American Nuclear Society, Illinois.
- [2] **Todreas Neil E. and Kazimi Mujid S.**, 1990. Nuclear Systems I, Thermal Hydraulic Fundamentals, Hemisphere Publishing Corporation, New York.
- [3] **Todreas Neil E. and Kazimi Mujid S.**, 1990. Elements of Thermal Hydraulic Design, Hemisphere Publishing Corporation, New York.
- [4] **Tapucu A., Gençay Ş., Troche N.**, 1984. Experimental Study of the Diversion Cross-Flow Caused by Subchannel Blockages, EPRI NP-3459 Volume I, Electric Power Institute, California.
- [5] **Lamarsh John R.**, 1983. Introduction to Nuclear Engineering, Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts
- [6] **Beşli H. Nihal**, 1999. Dikey Akışta ve İlişkili Kanallarda Kütle Değişimi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- [7] **Çağrı Gülsevin**, 1981. The Thermal-Hydraulic Codes Cobra III-C and Terhid, An Analysis and Comparison, *Master Thesis*, Boğaziçi University, İstanbul.
- [8] **Kurul Necdet**, 1983. İki Fazlı Altkanal Analizi Yapan COBRA-IIIC Kodunun Tanıtılması, Yayınlanmamış Rapor. İ.T.Ü. Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- [9] **Wheeler, C.L., Stewart, C.W., Cena, R.J., Rowe, D.S., and Sutey A.M.**, 1976. COBRA-IV-I: An Interim Version of COBRA for Thermal-Hydraulic of Rod Bundle Nuclear Fuel Elements and Cores, BNWL-1962, UC-32 Battelle Pasific Nortwest Laboratories, Richland, Washington.

## COBRA-IV-I PC VERSİYONUNUN KART TANIMLARI

Nümerik altkanal analiz metodlarının 1960'larda başlamasıyla birlikte, bu yaklaşımdan yararlanan pekçok sayıda bilgisayar kodu geliştirilmiştir. Burada bu kodların en önemlilerinden biri sayılan cobra-IV kodu tanıtılacaktır. Cobra-IV-I koddaki seçeneklerin ve yeteneklerin artırılması için geliştirilmiştir. Genel olarak IIIC kartlarında yapılacak olan küçük değişiklikler Cobra IIIC kodunu Cobra-IV-I ile uyumlu hale getirmektedir.

Cobra kodunda kullanıcı tarafından tanınlanabilen çeşitli ampirik korelasyonlar da input olarak girilebilmektedir. Kullanıcıya daha fazla yardımcı olabilmek amacıyla pekçok hesaplama parametresi kullanıcı boş karakter girdiğinde hazır değerde olacak biçimde değerlendirilmektedir. COBRA kodu Amerikan-İngiliz birim sistemini kullanmaktadır, bu nedenle kodun verdiği sonuçları SI (System International) birimlerine çeviren FORTRAN programları kullanılmıştır ancak kartlar girilirken değerler Amerikan-İngiliz sisteminde girilmelidir. COBRA-IV-I PC versiyonunun bir örneği tezin ilişiginde sunulan diskette verilmiştir.

## KART TANIMLARI

### Kart Etiketleri

#### COBRA.1 MAXT Format (I5)

Inputda okunacak ilk data. Sadece bir defa okunur

MAXT = Problem hesapları için bilgisayar zaman limitini tayin eder. Bilgisayar zaman limiti sonuçların yazılması için bu MAXT değerinden büyük olmalıdır. Negatif bir MAXT değeri daha önceden kaydedilen bir çözüm için yeniden başlama problemi anlamına gelir.

#### RESTR.1 NJUMP, NA, IT, NTT, TTT Format (4I5, F5.0)

Opsiyonel input

Bu kartda Cobra, daha önceki zamandan bağımsız veya transient çözümlerinden devam etme, hesaplama tahmini olarak önceki çözümle yapılacak yeni problem çözümü

imkanlarını sunmaktadır. Ayrıca bu kartta implicit çözüm planı için ek iterasyon sayısı da eklenebilmektedir.

NJUMP = Tekrar başlama bayrağı. NJUMP = 0; daha önceki zamandan bağımsız veya süreksiz çözümlerdeki hesaplara devam et, ek bir bilgi okuma. NJUMP = 1; ilk hesaplama tahmini olarak önceki çözüm ile yeni bir problem çözümü veya altyordam tanımından ek bilgi okuyarak daha önceki çözüm üzerinden hesaplamalara devam et. NJUMP = 2, döküm şeritini oku, girdi bilgilerini ve sonuçları yaz ve DUR. NJUMP = 3, NJUMP = 0 ile aynıdır fakat tüm girdi bilgisi yazılır.

NA = Kapalı çözüm için ek döngü sayısı.

IT = 1, önceki zamandan bağımsız çözüm için  $t = 0$  anında süreksiz çözüm ile başla, kurulumda süreksiz girdi içinde okunmalıdır. Diğer yeniden hesaplamalar için IT = 0

NTT = IT'den bağımsız olarak izin verilen ek zaman basamakları. Süreksizlikle başlayabilir veya süreksizlikle devam edebilir.

TTT = Toplam ek süreksizlik süresi (saniye)

#### **KART 0 KASE, JI, TEXT Format (2I5, 17A4)**

Bu kartta daha çok baskı seçenekleri sunulmaktadır, bu seçenekler arasında sadece yeni dataların yazılması, tüm input dataların yazılması, sadece çalışma şartlarının yazılması vardır.

KASE = Problem durum numarası.  $K > 0$ , sıfır değeri ile başlayan kart dizini ile başla.  $K < 0$ , ilk tahmin olarak önceki durum çözümünü kullan.  $K = 0$ , DUR.

JI = Girdi bilgileri için yazım opsiyonu. JI = 0, sadece yeni bilgileri yaz. JI = 1, tüm girdi bilgilerini yaz. JI = 2, sadece çalışma şartlarını yaz. JI = 10, tüm girdi değerlerini yaz ve sonra dur.

TEXT = Tanımlama için çıktı metni, maksimum 68 karakter.

## BAŞLANGIÇ GRUP DATALARI

### GRUP 1 ÖZELLİK TABLOSU Format (10I5)

N1 = NPROP, okunacak olan özellik kartlarının sayısı.

N2 = ISTEAM. N2 = 0, kızgın buhar özellikleri yok. N2 = 1, N1 buhar özelliği hesaplanır.

N3 = Kızgın buhar özellik aralığı. N2 = 0 ise uygulanamaz. Hazır olan değer N3 = 0, kod sistem basıncındaki doyum sıcaklığından 1500°F'a kadar N1 kızgın buhar özelliği hesaplar. N3 = 1 için kod DTMAX (Kart 1.2.) ile tanımlanan sıcaklık aralığı üzerinden N1 özellik hesaplar.

#### KART 1.1 PP(I), TT(I), VVF(I), VVG(I), HHG(I), UUF(I), KKF(I), SSIGMA(I)

Burada sistem basıncı, sıcaklık, sıvı spesifik hacmi, buhar spesifik hacmi, sıvı entalpisi, buhar entalpisi, sıvı viskozitesi, sıvı termal iletkenliği ve yüzey gerilmesi girilmektedir.

N1 doymuş sıvı ve buhar özellik kartı okunur

PP = sistem basıncı (psia)

TT = sıcaklık (°F)

VVF = sıvı spesifik hacmi (ft<sup>3</sup>/lb)

VVG = buhar spesifik hacmi (ft<sup>3</sup>/lb)

HHF = sıvı entalpisi (Btu/lb)

HHG = buhar entalpisi (Btu/lb)

UUF = sıvı viskozitesi (lb/ft-hr)

KKF = sıvı termal iletkenliği (Btu/hr-ft°F)

SSIGMA = yüzey gerilmesi (lb<sub>f</sub>/ft)

#### **KART 1.2 DTMAX Format (F5.3)**

DTMAX = kızgın buhar özelliklerinin yer alacağı sıcaklık aralığı.

#### **KART 2.2 GRUP SÜRTÜNME FAKTÖRÜ VE İKİ FAZLI AKIŞ KORELASYONU Format (F5.3)**

Bu kartda ise sürtünme faktörü ve iki fazlı akış korelasyonları girilmektedir:

N1 = J2. Subcooled boşluk oluşum korelasyonları. N1 = 0, subcooled boşluklar yok. N1 = 1, subcooled boşluklar Levy's modeline göre hesaplanır.

N2 = J3. Boşluk oranı korelasyonları. N2 = 0, homojen model. N2 = 1, modifiye edilmiş armand modeli. N2 = 5, slip oranı biçiminde okunması gereken slip modeli. N2 = 6 terimler ve katsayılar biçiminde tanımlanan boşluk oranı ve buhar kalitesine göre 6.dereceden bir polinom fonksiyonu.

N3 = J4. İki fazlı çarpan faktörü. N3 = 0, homojen model. N3 = 1, Arman modeli. N3>4, iki fazlı çarpana karşı kalitenin fonksiyonu olan 6. dereceden bir polinomun terim sayısı ve katsayıları.

N4 = NVISCW. Duvar viskozite korelasyonu. N4 = 0, sürtünme faktöründe ısıtılmış duvar korelasyonunu hesaba katma. N4 = 1, sürtünme faktöründe ısıtılmış duvar korelasyonunu dahil et.

N5 = LAMNF, laminar sürtünme faktörü. N5 = 0, laminar korelasyon yok. N5 = 1, 4 çeşit laminar sürtünme faktörü korelasyon sabitlerini oku.

N6 = Çubuktan tek fazlı akışkana ısı transfer katsayısı seçeneği. N6 = 0, Dittus-Boelter korelasyonu. N6>0, kullanıcının tanımlayabileceği bir korelasyon.

**KART 2.1 AA(I), BB(I), CC(I) (I = 1-4) Format (12F5.3)**

Türbülans sürtünme faktörü katsayıları. 4 takım halinde okunur.

$AA, BB, CC = f = AA(Re)^{BB} + CC$  formundaki korelasyon. Bu 4 takım 4'e kadar olan altkanal tipine karşılık gelmektedir.

**KART 2.2 AAL(I), BBL(I), CCL(I) (I = 1-4) Format (12F5.3)**

Opsiyonel input

Laminer sürtünme faktörü katsayıları

$AAL, BBL, CCL =$  laminer sürtünme faktörü korelasyonu sabitleri. 2.1 kartı ile aynı tanımlamaya sahiptir.

**KART 2.3 AH(I) (I=1-4) Format (12F5.3)**

Opsiyonel input –  $N6 > 0$

AH tek fazlı ısı transferi korelasyonu için  $h = (K/D)(AH(1)RE^{AH(2)}Pr^{AH(3)} + AH(4))$  biçimindeki korelasyon.  $N6 \leq 0$  için AH(I) AH(1) ile AH(4) arasında değerler sıra ile, 0.023, 0.8, 0.4, 0.0.

**KART 2.4 NV, AV(I) (I = 1-7) Format (I5,7E10.5)**

Slip oranı ve boşluk oran korelasyonu

$NV = N2 = 5$  olursa AV(1) tek terimli slip oranıdır.  $N2 = 6$  olursa AV(I) değerini boşluk oranına karşı buhar kalitesini 6. dereceden bir polinomla tanımlayan fonksiyonun katsayılarını oku.

**KART 2.5 NF, AF(I) (I = 1-7) Format (I5,7E10.5)**

Opsiyonel input  $N3 > 4$

İki fazlı sürtünme çarpanı

NF = buhar kalitesi polinom fonksiyonun terim sayısı.

AF = iki faz çarpanına karşı buhar kalitesinin 6. dereceden polinom fonksiyonunun sabitleri.

### **KART 3.3 GRUP EKSENEL ISI AKISI TABLOSU Format (10I5)**

N1 = NAX, ısı akısı tablosundaki giriş sayısı.

### **KART 3.1 Y(I), AXIAL(I) (I=1-N17) Format (12F5.3)**

Eksenel ısı akısı tablosu

Y = L yakıt demetin toplam uzunluğu olmak üzere ısı akısının verildiği rölatif X/L değerleri. Bitim noktaları olarak 0.0 ve 1.0 noktalarını kapsamalıdır.

AXIAL = (X/L) değerindeki göreceli akı. (Lokal akı / Ortalama akı)

### **KART 4 4. GRUP KANAL DÜZENİ VE BOYUTLARI Format (10I5)**

N1 = altkanal bilgisinin okunacağı data kartlarının sayısı. Daha önceden atanmadıysa (örneğin yeniden başlama durumu) her bir altkanal için bir kart.

N2 = N1'den bağımsız olarak toplam altkanal sayısı.

N3 = komşu kanallar arasındaki yanal akış için N3 rölatif açıdaki yön tanımlaması yapma seçeneği.

N4 = termal bağlantı sayısı.

N5 = okunacak olan 4.1. kartının hangi kart kümesinin lojik üniteleri olduğunun belirtilmesi.  $N5 > 0$ , kartları N5 lojik biriminden oku. Eğer kartlar belirtilmemişse  $N5 = 9$  alınması tavsiye edilir.

N6 = okunacak olan 4.3. kartının hangi kart kümesinin lojik üniteleri olduğunun belirtilmesi.  $N6 > 0$ , kartları N6 lojik biriminden oku. Eğer kartlar belirtilmemişse  $N6 = 9$  alınması tavsiye edilir.

**KART 4.1** **N, I, AC(I), PW(I), LC(I,L), GASP(I,L), DIST(I,L)** [ L =1-4, I = 1-N1]

Format[I1, I4, 3E5.2, 4(I5, sE5.2)]

Kanal geometrisinin N1 kartlarını okur.

N = Altkanal tipi. Sıfır veya boşluk girilirse tip 1 atanır. Eğer  $N > 0$  tip N atanır. Altkanal tipi uygun sürtünme faktörü korelasyonlarının kullanımını belirtir. (Kart 2.1. ve Kart 2.2.)

I = altkanal tanım numarası

AC = nominal altkanal alanı ( $\text{in}^2$ )

PW = nominal ıslak çevre (in)

PH = nominal ısıtılmış çevre (in)

LC = I. altkanala komşu olan 4 altkanala kadar olan komşu altkanal tanım numarası. Eğer altkanallar artan tanımlama numaraları ile girilmişse sadece  $LC(I,L) > I$  koşuluna uyan bağlantılar okunmalıdır.

GAPS = I. altkanal ve LC (in) ile tanımlanan komşu kanal arasındaki nominal yarık (GAP) genişliği.

DIST = LC (in) ile tanımlanan komşu kanalllar arasındaki merkez-merkez uzaklığı. Sadece grup 10'da  $N1 = 3$  ise gerekmektedir.

**KART 4.2** **KW, RHOLCP(KW), WIDTH(KW), IKW(KW), RWALL(1,KW), JKW(KW), RWALL(2,KW)** [KW=1-N4] Format[2X, I3, 2E5.2, 2(I5, E5.2)]

Opsiyonel input –  $N4 > 0$

Termal duvar bağlantıları ile altkanallar için termal bağlantı dataları.

KW = termal bağlantı sayısı

RHOLCP = duvar ısı kapasite parametresi ( $\text{Btu/ft}^2\text{-}^\circ\text{F}$ )

WIDTH = duvar genişliği (in). Isı iletim alanı = WIDTH x DX.

IKW, JKW = duvara komşu olan altkanal sayısı.

RWALL(1,KW), RWALL(2,KW) = IKW ve JKW altkanallarının duvar iletim dirençleri (ft<sup>2</sup>-sec-°F/Btu).

**KART 4.3 K, ANGLE(K) Format [5(I5.F5.0)]**

Opsiyonel input – N3 > 0

N3 çift değer okunur.

K = yanal akış yönünün belirlendiği yarık numarası.

ANGLE = Yarık (GAP) K, boyunca pozitif yanal akışın rölatif, pozitif derece cinsinden, yönü.

**KART 5 5. GRUP ALTKANAL ALAN DEĞİŞİMİ Format (10I5)**

N1 = NAFAC, alan değişim tablolarının okunacağı altkanal sayısı

N2 = NAXL, altkanal alan değişimi için eksenel konum sayısı.

N3 = NARAMP, alan değişimlerinin kademeli olarak hesaba katılmasındaki döngü sayısı.

Boşluk veya sıfır olduğu takdirde, NARAMP = 1. Yeniden başlama durumu için, eğer istenirse NARAMP yeniden okunmalıdır.

**KART 5.1 AXL(I) (I=1-N2) Format (12F5.3)**

Eksenel konum tablosu

AXL = altkanal alan değişimlerinin tanımlanacağı eksenel konum (X/L). 5.2. kartında tanımlanan tüm altkanallara etkiyen N2 değer halinde okunur.

**KART 5.2 [I,(AFAC(L,J), L = 1-N2), j = 1-N1] Format (I5/(12F5.3))**

N1 altkanal için (AXL)'e karşı gelen N2 eksenel konumdaki alan değişim faktörleri okunur.

I = alan değişimlerinin belirtildiği altkanalın tanım numarası. (I5) formatına göre okunur, sonra diğer karta atlanır ve AXL konumlarına karşılık gelen tam bir takım faktörler (AFACT) okunur. N1 altkanal için faktörler okununcaya kadar tekrar edilir.

AFACT = her eksenel seviyedeki (AXL) rölatif altkanal alanı ( $A_i/A_{\text{nominal}}$ )

## **KART 6 6. GRUP YARIK BOYUTU DEĞİŞİM TABLOSU Format (2I5)**

N1 = NGAPS, yarık değişim tablolarının okunacağı yarıkların sayısı.

N2 = NGXL, yarık değişimi için eksenel konumların sayısı

### **KART 6.1 GAPXL(L) (L=1,N2) Format (12F5.3)**

Eksenel konum tablosu.

GAPXL = yarık değişimlerinin belirtileceği eksenel konumlar (X/L). Kart 6.2.'de tanımlanan tüm yarıklara uygulanan N2 değeri okur.

### **KART 6.2 K, (GFACT(L,LL) L=1-N2), LL=1-N1 Format(I5/(12F5.3))**

N1, GAPS için (GAPXL) eksenel konumdaki yarık (GAP) değişimlerini okur.

K = değiştirilecek olan yarığın yarık tanımlama numarası. K değerini okur [Format(I5)], sonra diğer karta atlar ve N1 yarık değişim faktörlerini okur. N1 yarık okununcaya kadar faktörleri tekrar eder.

GFACT = K. yarık için yarık değişim faktörleri. Herbir GAPXL konumuna karşı gelen her bir K için N2 değer okunur.  $GFACT = (GAP_i/GAP_{\text{nominal}})$

## **Kart 7 7. GRUP TEL ÖRGÜ VE BİLEZİK DİZAYN BİLGİLERİ Format (10I5)**

$N1 = J6$ .  $N1 = 1$  sadece tel örgü inputunu belirler.  $N1 = 2$  sadece ızgara bilezik inputunu belirler.  $N1 = 3$  hem tel örgü inputunu hem de ızgara bilezik kayıp katsayısı inputunu belirler.

$N2$  = tel sargı bilgilerinin sağlandığı yarık sayısı.

$N3$  = NGRID, ızgara bilezikleri için eksenel konumların sayısı.

$N4$  = NGRIDT, ilgili bilginin sağlanacağı ızgara tipi sayısı.

$N5$  = NRAMP, ızgara kayıp terimlerinin çözüme dahil edileceği döngü sayısı. Yeniden başlama durumu için eğer istenirse NRAMP yeniden okunmalıdır.

$N6$  = 7.2. kartı ile 7.3. kartlarını belirleyen lojik ünite.  $N6 = 0$ , input dizininden oku.  $N6 > 6$ ,  $N6$  lojik ünitesinden oku. Kartların tanımlanmadığı durumlarda  $N6 = 9$  olarak alınması tavsiye edilir.

#### **KART 7.1 PITCH, DIA, THICK Format (3E10.5)**

Opsiyonel input –  $N1 = 1$  veya 3

Tel örgü tanımlamaları

PITCH = tel örgü aralığı (in).

DIA = çubuk veya zarf dış çapı (in).

THICK = tel örgü çapı (in).

#### **KART 7.2 K, DUR(K), XCROSS(K,L) (L=1-2) Format (I5, 2E5.2)**

Örgü bilgileri

$K$  = yarık numarası

DUR = zorlayıcı yanal akış için aralık uzunluğunun efektif bölümü. Tavsiye edilen değer

$DUR = \Delta X / PITCH$  denkleminde türetilir; burada  $\Delta X$  = eksenel düğüm mesafesi (in),

PITCH = tel örgü aralığı (in)

XCROSS = tel örgü geçiş açısı. XCROSS, yarık ile tel (demet girişindeki) arasındaki açıyı ( $\theta$ )  $360^\circ$ 'ye bölerek elde edilir. Örgü eğer küçük numaralı bir altkanaldan büyük numaralı bir altkanala hareket ediyorsa değer pozitif olarak alınır aksi takdirde negatif olarak alınır. Eğer tel örgü demet girişindeki yarık sınırı üzerinde ise XCROSS =  $\pm 1.0$  alınır 0 olarak alınmaz.

**KART 7.3    NWRAPS(I) (I = 1-NCHANL) Format [5(10I5)]**

Opsiyonel input – N1 = 1 veya 3

Örgü envanteri

NWRAPS = Başlangıçta herbir altkanalda bulunan örgü sayısı. Demet girişinde bulunan tellerin sayısını tamsayı değeri olarak okur. Yarık sınırında bulunan teller için, örgünün devam ettiği altkanal içinde olduğu kabul edilir. Tüm altkanalların envanteri tamamlanıncaya kadar herbir bilgi kartına karşı 10 değer okunur.

**KART 7.4    GRIDXL(I), IGRID(I) (I=1-N3) Format [6(E5.2,I5)]**

Opsiyonel input – N1 = 2 veya 3

Herbir ızgaranın ve ızgaraların eksenel konumu.

GRIDXL = Izgara bileziklerinin rölatif konumu (X/L)

IGRID = GRIDXL eksenel konumundaki ızgara tipi.

**KART 7.5    [(J, CD(J,I), K, FFFLOW(K,I), II = 1 – NCHNL), I = 1-N4] Format [I5,E5.2, I5, E5.2)**

Opsiyonel input – N1 = 2 veya 3

Eğer istenirse, her bir ızgara tipi için de her altkanaldaki kayıp katsayısını ve zorlamalı yanıl akışı okur.

NCHANL = Toplam altkanal sayısı. Önce 1. ızgara tipi sonra izleyen ızgara tipleri için tüm altkanallardaki data okumalarını tekrar et.

J = Dataların sağlandığı altkanal tanımlama numarası.

CD = I tipi ızgara için J. altkanaldaki kayıp katsayısı.

K = zorlamalı saptırıcı yanal akışın tanımlandığı j. altkanal yarığı. Eğer boşluk bırakılmışsa zorlamalı yanal akış yok demektir.

FXFLOW = I tipi ızgara için K yarığı boyunca saptırılan eksenel akışın oranı. Eğer boşluk bırakılmışsa zorlamalı yanal akış yok demektir.

## **KART 8      8. GRUP ÇUBUK DİZAYN VE YAKIT ÖZELLİKLERİ**

N1 = Okunacak olan çubuk data kartlarının sayısı. Modellenen her çubuk için bir kart. Yeniden başlama durumları veya çoklu çalışma durumlarında sadece yeni çubuk inputunun okunması yeterlidir.

N2 = NROD, N1'den bağımsız olarak modellenen çubukların toplam sayısı.

N3 = NC, yakıt modelinde kullanılan yaklaşımın mertebesi. N3 = 0, yakıt modeli yok. N3 = 2, 2.dereceden yaklaşımlı çözüm. N3 = 3, 3. Dereceden yaklaşımlı çözüm. N3>3 veya N3 =1 geçersizdir.

N4 = NFUEL, termal özelliklerin tanımlanacağı yakıt malzemelerinin sayısı. N3 = 0 veya boşluk ise uygulanamaz bu durumda NFUEL = 1 atanır.

N5 = NCHF, kritik ısı akısı opsiyonu. N5 = 0, CHF hesaplamaları gerçekleştirilir. N5 = 1, BAW-2 korelasyonu kullanılır. N5 = 2, W-3 korelasyonu kullanılır.

N6 = NQAX, ek yakıt modeli opsiyonu. Eğer N3 = 0 ise uygulanamaz. N6 = 0 ise ek opsiyon yoktur. N6 = 1, sadece değişken termal iletkenlik. N6 = 2, sadece eksenel iletkenlik. N6 = 3, hem eksenel hem de değişken termal iletkenlik. N6 = 2 veya 3 aynı zamanda akışkanın eksenel iletkenliğini de belirtir.

N7 = ısı tansferi korelasyonu opsiyonu. N7 = 0, Dittus Boelter veya 2.2. Kartında kullanılan diğer bir korelasyon kullanılır. N7 = 1, RELAP-4 bilgisayar kodundakine benzer kaynama ve kaynamanın olmadığı tam bir korelasyon paketini kullanır.

N8 = NRODTP, eksenel olarak değişen yakıt malzemesi opsiyonu. N8 = 0, her bir yakıt çubuğu tek bir malzemedan yapılmıştır ve eksenel olarak değişen hiçbir data okunmaz. N8>0 her N tipi yakıt için yakıt bölgesi bilgisini okumalıdır(Kart 8.8.).

N9 = 8.8. kart takımından okunacak olan lojik ünite. N9>0 N9 lojik ünitesinden okunur. Kartlardan okunmadığı takdirde N9 = 9 alınması tavsiye edilir.

#### **KART 8.1 N, I, DR(I), Radial, [LR(I,L), PHI(I,L)] L = 1-6**

Format [I2, I3, 2E5.2, 6(I5, 3E5.2)]

Çubuk input datalarının N1 kartından N değerini okur.

N = Yakıt biçimi ve yakıt malzeme opsiyonu. N = 0 veya pozitif olursa silindirik yakıt biçimi tanımlanır. N = negatif olursa plaka biçimli yakıt elemanı tanımlanır. N değerinin mutlak değeri I yaktının malzeme özellik konfigurasyonunu tanımlar. N8 = 0 (eksenel olarak düzgün yakıt) için ABS(N) I çubuğunun yapıldığı N4 malzemedan (kart 8.2.) birine karşılık gelir. N8>0 (eksenel olarak değişen yakıt bölgeleri) için ABS(N) eksenel uzunluğa karşı N8 malzemedan (kart 8.4.) birine karşılık gelir.

I = çubuk tanımlama numarası

DR = çubuk dış çapı (in). Eğer çubuk etrafında zarf bulunuyorsa DR zarf dış çapı olarak alınır.

RADIAL = Ortalama çubuk gücünün oranı olarak çubuk (I) için radyal güç faktörü (Grup 11).

LR = çubuğu (I) çevreleyen altkanalların tanım numaraları. 6 altkanala kadar okunur.

PHI = komşu altkanal oranla çubuk toplam gücünün oranı (LR ile tanımlanan altkanalla yüzleşen çubuğun dış çevresinin oranı).

**KART 8.2 KFUEL(I), CFUEL(I), RFUEL(I), DFUEL(I), KCLAD(I), CCLAD(I), RCLAD(I), TCLAD(I), HGAP(I) (I=1-N4)**

Opsiyonel input N4>0

Bu kartda malzeme özellikleri girilmektedir. Termal özellikleri girilen N4 malzemeye karşılık gelen N4 kart okunur. Her yakıt çubuğu bu malzemelerin bir veya daha fazlasından oluşur. N8 = 0, N tipi (Kart 8.1.) I tipi malzemeye karşılık gelir.

KFUEL = yakıtın termal iletkenliği (Btu/hr-ft-°F).

CFUEL = yakıtın spesifik ısınma ısısı (Btu/lb-°F).

RFUEL = yakıt yoğunluğu (lb/ft<sup>3</sup>).

DFUEL = yakıt çapı (in).

KCLAD = zarf termal iletkenliği (Btu/hr-ft-°F).

CCLAD = zarfın spesifik ısınma ısısı (Btu/lb-°F).

RCLAD = zarf yoğunluğu (lb/ft<sup>3</sup>).

TCLAD = zarf kalınlığı (in).

HGAP = yakıt-zarf boşluk iletkenlik katsayısı (Btu/hr-ft<sup>2</sup>-°F).

**KART 8.3 TREF, BK(I) (I = 2-4) Format (F10.0.3E10.4)**

Opsiyonel input-NC>0 ve NQAX = 1 veya 3

TREF = referans sıcaklık değeri K = KFUEL(1)(°F)

$BK = K(I) = KFUEL(1)*[1+BK(2)*(T-TREF)+BK(3)(T-TREF)^2+BK(4)(T-TREF)^3]$   
biçiminde sıcaklığa bağlı olan termal iletkenlik için 3. dereceden polinom yaklaşımının katsayıları.

**KART 8.4** NZONE(I), ZEND(I,K), IZTYP(I,K), [K=1-NZONE(I), I=1-N8] Format  
[I5/(6(E5.2.I5))]

Opsiyonel input-N8>0

Eksenel olarak değişen yakıt malzemelerini tanımlayabilme seçeneği. Herbir N tipi yakıt için yakıt bölgesi konfigürasyon tablosundan okunmalıdır (Kart 8.1.).

NZONE = I yakıt tipi için eksenel mesafeye karşıyakıt malzeme tablosundan okunacak olan eksenel bölge sayısı.

ZEND = yakıt bölgesinin sonunun rölatif eksenel konumu (X/L). Eğer I yakıt tipi eksenel olarak düzgün ise,  $ZEND(I,1) = 1.0$

IZTYP = ZEND'de sonlanan yakıt bölgesindeki malzeme tipi. Her IZTYP 8.2. kartında tanımlanan bir malzemeye karşılık gelmektedir. Sadece 1 tipi malzeme değişken termal iletkenliğe sahip olabilir.

**KART 9** GRUP 9 HESAPLAMA DEĞİŞKENLERİ Format (10I5)

N1 = NSKIPX, çıktı yazım opsiyonu. N1 = 0 veya 1 tüm eksenel seviyeleri yaz. N1>1, her N1 eksenel seviyesini yaz.

N2 = NSKIPT, çıktı yazım opsiyonu. N2 = 0 veya 1, tüm zaman adımlarını yaz. N2>1 her N2 zaman basamağını yaz.

N3 = K11, problemi çözmek için çözüm algoritmasının tanımlanması. N3 = 0 hem zamandan bağımsız hem de süreksizliğin olduğu hesaplar için III-C kapalı çözüm planını belirtir. N3 =1 zamandan bağımsız kapalı ve  $\Delta P$  sınır şartına sahip açık bir süreksizlik belirtir. N3 = 2 sıfır akış başlangıç koşuluna ve  $\Delta P$  sınır şartına sahip açık bir süreksizliği tanımlar. N3 = 3 içeri doğru akışın sınır şartı olarak alındığı kapalı zamandan bağımsız ve

açık bir süreksizliği belirtir.  $N3 = 4$  sıfır akış başlangıç koşuluna sahip ve içeri doğru akışın sınır şartı olarak alındığı açık bir süreksizlikle başladığını belirtir.

$N4 = IROLL$ , problem salınım seçeneği.  $N4 = 0$ , salınım seçeneği yok, kordaki tüm değişkenler tüm zamanlarda yerlerinde bulunur.  $N4 = 1$ , sadece 3 eksenel seviye bilgisi  $-J-1, J, J+1$  bir zamanda korda depolanır.

$N5 = ITSTEP$ , maksimum zaman basamağı tablosu.  $N5 = 0$ , tüm zamanlar için maksimum süreksizlik zaman basamağı FDT (kart 9.3.) olarak alınır.  $N5 > 0$  için, değişken maksimum zaman basamakları için  $N5$  çift ( zamana karşı maksimum zaman basamağı) halinde okur. Sadece K1170 için okunur.

#### **KART 9.1    Z, TTIME, WERRX, WERRY, FERROR, KIJ, SL, FTM, THETA, USDON, DAMPING, ACCELY, ACCELF**

Format (16E5.0)

$Z$  = toplam eksenel uzunluk (in)

$TTIME$  = toplam süreksizlik zamanı (saniye)

$WERRX$  = harici yanal akış yakınsama limiti. Herhangi bir eksenel seviyedeki yinelemeli yanal akışlarda izin verilebilen maksimum hata olarak kapalı yanal akış çözümü için tanımlanmıştır. Eğer herhangi bir hata  $WERRX$  değerinden daha büyük olursa, çözüm tüm demet üzerinden bir başka yinelemeyle taranarak devam eder. Hazır olan değer 0.01'dir.

$WERRY$  = dahili yanal akış yakınsama limiti.  $J$ . seviyedeki yinelemeli Gauss-Seidel çözüm planı için yakınsama limiti. Hazır olan değer 0.001'dir.

$FERROR$  = harici eksenel akış yakınsama limiti. Yinelemeli eksenel akışlar için izin verilebilir maksimum hata olarak kapalı eksenel momentum denklemi için tanımlanmıştır. Eğer hata  $FERROR$  değerinden daha büyük olursa tüm demet üzerinden bir başka yinelemeyle tarama yapılır. Hazır olan değer 0.001'dir.

KIJ = Türbülanslı yanal akış direnç faktörü. Hazır olan değer 0.5'dir.

SL = Yanal momentum parametresi. Hazır olan değer 0.5'dir.

FTM = Türbülanslı momentum faktörü. Hazır olan değer 0.0'dır.

THETA = Demet yönelimi. Boşluk veya sıfır dikey yönelimi belirtir, aksi durumda yataydan itibaren en yakın açı derece cinsinden okunur.

USDON =  $U^*$  hesaplamasında verici ve alıcı altkanalların hız katkısını belirler. USDON = 0, J ve I sırayla verici ve alıcı altkanal olmak üzere  $U^* = 1/2[U(J)+U(I)]$ . USDON = 1.0, J verici altkanal olmak üzere  $U^* = U(J)$ . 0.0 ile 1.0 arasındaki herhangi bir değer kabul edilebilir. Hazır olan değer USDON = 0.0'dır.

DAMPING = yinelemeli SP terimi için DAMPING faktörü. N ve N-1 sırayla; mevcut ve önceki yineleme olmak üzere  $SP(I,J)^N = DAMPNG*SP(I,J)^N + (1-DAMPNG)*SP(I,J)^{N-1}$

ACCELY = Yanal akış çözüm hızlandırıcısı. N yineleme numarası göstermek üzere

$W(K,J)^N = ACCELY*W(K,J)^N + (1-ACCELF)*F(I,J)^{N-1}$ . N için hazır olan değer 1.0'dır.

## **KART 9.2    NDX, NDT, NTRIES, ITRY, ITRYM Format (5I5)**

NDX = eksenel düğüm sayısı

NDT = izin verilen toplam zaman basamağı. Kapalı süreksizlikler için zaman basamak boyutu (TTIME/NDT)'dir. Açık süreksizliklerde zaman basamak boyutu ise probleme bağlı olan süreksizlikteki toplam zaman basamakları ve süreksizliğin limitleri olan NDT ve TTIME değerlerine bağlıdır.

NTRIES = kapalı çözüm planında WERRX ve FERROR değerlerine bağlı olmaksızın izin verilebilen maksimum harici döngü sayısı. Hazır olan değer 20'dir.

ITRY = WERRY değerine bağlı olmaksızın kapalı çözüm planında izin verilebilen maksimum dahili döngü sayısı. Hazır olan değer maksimum olarak 20'dir.

ITRYM = yakınsamaya bağlı olmaksızın kapalı çözüm planı için dahili yanal akış çözümündeki minimum döngü sayısı. Hazır olan değer 5'tir.

### **KART 9.3 FCOUR, FDT, XZERR, YZERR, THX, THD, ACCEL1, ACCEL2**

Format (12E5.0)

Opsiyonel input-K11>0

Açık çözüm planı parametreleri

FCOUR = zaman basamağı sınırlandırma parametresi. Hazır olan değer 0.5'tir.  
 $FCOUR = (hız)\Delta T/\Delta X$ .

FDT = FCOUR parametresinden bağımsız olarak maksimum zaman basamağı. Bu değer için hazır değeri olmadığından okunması gerekir.

XZERR = açık çözüm planındaki döngüsel akış alanı yakınsama limiti. Hazır olan değer 0.01'dir.

YZERR = açık çözüm planındaki döngüsel enerji denklemini yakınsama limiti. Hazır olan değer 0.0001'dir.

THX = 1. Bütünleşmiş sıvı seviyesi her zaman ve her kanal için yazılır. THX = 0 ise sıvı seviyesi yazımı yapılmaz. Hazır olan değer 0'dır.

THD = 1. Aşağı doğru sıvı hızına eşdeğer olan opsiyonel arayüzey keskinleştirme parametresi. Hazır olan değer 0'dır.

ACCEL1 = geçerli basınç değişimi üzerindeki hızlandırma faktörü. Hazır olan değer 1.3'tür.

ACCEL2 = son döngüdeki basınç değişimi üzerindeki hızlandırma faktörü. Hazır olan değer 0'dır.

#### **KART 9.4 NTRYX, NTRY, KNOFLO, JNOFLO Format (10IJ)**

Opsiyonel input-K11>0

Açık çözüm planı için ek olarak parametreler.

NTRYX = XZERR'in akış çözümünde izin verilebilen maksimum döngü sayısı. Hazır olan değer 50'dir.

KNOFLO, JNOFLO = KNOFLO sayılı yarık boyunca ya da JNOFLO eksenel düğüm noktasından aşağıda veya yukarıda yanal akışa izin verilmez. Her iki parametre için de hazır olan değer 0'dır.

#### **KART 9.5 YT(I), FT(I) (I=1-N59 Format (12E5.0))**

Opsiyonel input-N5>1

Zamana karşı zaman basamak boyutu için N5 çift değer olarak okunur.

YT = maksimum zaman basamağı için zaman (saniye). t=0 anını da dahil etmelidir.

FT = bu zamanda izin verilebilen maksimum zaman basamağı (saniye).

#### **KART 10 GRUP 10 TÜRBÜLANSLI KARIŞIM KORELASYONLARI Format (10I5)**

N1 = NSBC. Tek-faz türbülanslı karışım opsiyonu. Türbülanslı yanal akış W' için çeşitli denklem biçimleri mümkündür:

ABETA ve BBETA (kart 10.1) sabitleri N1 denklemini ile seçilen denkleme uygulanmak üzere;

- 1)  $W'_K = ABETA \cdot (S_K)$
- 2)  $W'_K = ABETA \cdot Re^{**} BBETA \cdot (S_K)$
- 3)  $W'_K = ABETA \cdot Re^{**} BBETA \cdot (\check{D})$
- 4)  $W'_K = ABETA \cdot Re^{**} BBETA \cdot (S_K / Z_K) (\check{D})$

$N1 = 0$ , denklem 1 kullanılır

$N1 = 1$ , denklem 2 kullanılır

$N1 = 0$ , denklem 3 kullanılır

$N1 = 1$ , denklem 4 kullanılır

$N2 = NBCC$ , iki-fazlı karışım opsiyonu.  $N2 = 0$  veya  $1$ , iki fazlı karışımın subcooled daki gibi olduğu varsayılır.  $N2 > 1$ , buhara karşı iki fazlı karışım Beta değeri tablosundan çiftler halinde data okunur.

$N3 = J5$ , radyal termal iletim karışımı için seçenek.  $N3 = 0$ , termal iletkenlik yok.  $N3 = 1$ , radyal termal iletim için GK termal geometri faktörü okunur.

#### **Kart 10.1 ABETA, BBETA Format (12F5.3)**

ABETA, BBETA = seçilen türbülanslı karışım korelasyonunun katsayıları (bakınız N1).

$N1 = 0$  ise BBETA boş olarak alınır.

#### **KART 10.2 XQUAL(I), BX(I) Format (12E5.3)**

Opsiyonel input- $N2 > 1$

Karışım Beta değerine karşılık gelen buhar kalitesi değer tablosu okunur.

XQUAL = buhar kalitesi.

BX = buhar kalitesine karşılık gelen karışım Beta değeri.

#### **KART 10.3 GK Format (F5.3)**

Opsiyonel input- $N3 = 1$

GK = radyal termal iletim karışımı için geometri faktörü.

### **KART 11 GRUP 11 ÇALIŞMA ŞARTLARI VE SÜREKSİZ ZORLAMA FONKSİYONLARI Format (10I5)**

N1 = IH, belirtilen giriş entalpisi veya sıcaklık seçeneği. N1 = 0, HIN (kart 11.1) giriş entalpisi. N1 = 1, HIN giriş sıcaklığı. N1 = 2, her bir altkanal için bir giriş entalpisi okunur. N1 = 3, her bir altkanal için bir giriş sıcaklığı okunur.

N2 = IG, kütle akısını tanımlama seçeneği. N2 = 0, GIN (kart 11.1) her bir altkanal için giriş kütle akısıdır. N2 = 1, GIN yakıt demetindeki ortalama kütle akısıdır fakat altkanal akışı ilk aksenel düğüm noktası boyunca eşit  $\Delta P/\Delta X$  vermek üzere bölünür. N2 = 2, GIN yakıt demetindeki ortalama kütle akısıdır fakat 11.3 kartında verilen akış ornaını ile bölünür.

N3 = sistem basıncı için süreksiz zorlayıcı fonksiyon. Zamana karşı sistem basıncı tablosundan NP çift değeri okunur.

N4 = giriş entalpisi veya basıncı için süreksiz zorlayıcı fonksiyon. Zamana karşı giriş entalpisi veya sıcaklık tablosundan NH çift değeri okunur.

N5 = kütle akısı girişı veya basınç düşümü için süreksiz zorlayıcı fonksiyon. Zamana karşı kütle akısı veya  $\Delta P$  tablosundan NG çift değeri okunur.

N6 = ortalama ısı akısı için süreksiz zorlayıcı fonksiyon. Zamana karşı ısı akısı faktörü tablosundan NQ çift değeri okunur.

N7 = K10, basınç düşümü sınır şartları süreksizlikleri seçimi. Eğer K11 (kart 9) 1 veya 2 değerine eşit ise, kütle giriş akısı için süreksizlik zorlayıcı fonksiyonu (N5) süreksiz basınç düşümü tablosu haline gelir. Tablo değerleri zamandan bağımsız basınç düşümünün birer oranı haline gelir.

N8 = çıkış entalpisi için süreksizlik zorlayıcı fonksiyonu. Zamana karşı çıkış entalpi faktörü tablosundan NHX çift değeri okunur.

#### **KART 11.1 PEXIT, HIN, GIN, AFLUX, HOUT, DPS Format (6F10.0)**

Çalışma şartları

PEXIT = sistem basıncı (psia).

HIN = N1 değerine bağlı olarak giriş entalpisi (Btu/lb) veya sıcaklık(°F). Eğer HIN negatif ise, giriş entalpisi ya HIN değerinin mutlak değeri olarak alınır ya da eğer akış tersine dönmüşse son olarak hesaplanan ilk düğüm entalpisindeki değer alınır.

GIN = N2 seçeneği ile dağıtılacak olan giriş kütle akısı (MLB/hr-ft<sup>2</sup>).

AFLUX = ortalama ısı akısı (MBtu/hr-ft<sup>2</sup>).

HOUT = çıkış entalpisi. Eğer HOUT belirtilmişse ve akış tersine dönerse, “yeni” çıkış entalpisi HOUT olacaktır. Aksi durumda, HOUT boşluk ise “yeni” çıkış entalpisi tersine dönüş durumundan önce hesaplanan çıkış entalpisi değerinden elde edilir (Btu/lb).

DPS = zamandan bağımsız kapalı çözüm planındaki akış sınır şartı yerine basınç düşümünü belirleme seçeneği. Kod, hesaplanan basınç düşümü DPS (psi) değerine yaklaşıncaya kadar toplam içeri akış oranını yineler.

#### **KART 11.2 HINLET(I) (I=1-NCHANL) Format (12E5.0)**

Opsiyonel input N1 = 2 veya 3

Giriş entalpisi veya sıcaklığı;

HINLET = Her bir altkanalın giriş entalpisi (N1 = 2) veya giriş sıcaklığı (N1 = 3); her bir altkanal için bir değer okunur.

#### **KART 11.3 FINLET(I) (I = 1-NCHANL) Format (12E5.0)**

Opsiyonel input-N2>2

FINLET = Her bir altkanal için altkanaldaki giriş akışı (F(I)/FTOTAL).

#### **KART 11.4 YP(I), FP(I) (I = 1-N3) Format (12E5.0)**

Opsiyonel input N3>1

Basınç süreksizlik tablosu,

YP = faktörün uygulanması durumunda süreksizlik zamanı (saniye)

FP = süreksizlik zamanındaki (YP) zamandan bağımsız Sistem Basıncı oranı.

**KART 11.5 YH(I9, FH(I) (I = 1-N4) Format (12E5.0)**

Opsiyonel input N4>1

Entalpi veya sıcaklık süreksizlik tablosu

YH = faktörün uygulanması durumunda süreksizlik zamanı (saniye)

FH = süreksizlik zamanındaki (YH) giriş entalpisinin (N1 = 0 veya 2) veya giriş sıcaklığının oranı.

**KART 11.8 YHX(I), FHX(I) (I=1-NHX) Format (12E5.0)**

Opsiyonel input N8>1

Çıkış entalpisi süreksizlik tablosu.

YHX = faktörün uygulanması durumunda süreksizlik zamanı (saniye)

FHX = akış tersine döndüğü takdirde süreksizlik zamanında (YHX) kullanılacak olan zamandan bağımsız çıkış entalpisi (HOUT) oranı.

**KART 12 GRUP 12 HESAPLAMALAR İÇİN ÇIKTI SEÇENEKELERİ**  
(Format 10I5)

N1 = NOUT, yazım opsiyonu. N1 = 0, sadece altkanal dataları yazılır. N1 = 1, sadece altkanal dataları ve yanal akış yazılır. N1 = 2, sadece altkanal dataları ve yakıt çubuk sıcaklıkları yazılır. N1 = 3, altkanal dataları, yanal akış ve yakıt çubuk sıcaklıkları yazılır.

N2 = NPCHAN, altkanal data yazım seçeneği. N2 = 0, tüm altkanal datalarını yaz. N2>0, yazılacak olan N2 altkanal tanım numaralarını okur.

N3 = NPROD, yakıt çubuğu ısı akısı ve/veya sıcaklık yazım seçeneği. N3 = 0, N1 tarafından çağrılırsa tüm çubuklar için olan datalar yazılır. N3>0, yazılacak olan N3 çubuk

tanım numaralı çubuk okunur. Eğer NCHF (Kart 8.) sıfırdan büyükse, CHF dataları çubuk dataları ile birlikte de yazılır.

**KART 12.1 PRINTC(I) (I=1-N2) Format(24I3)**

Opsiyonel input N2>0

PRINTC = dataları yazılacak olan N2 altkanalın altkanal tanım numarasını okur. N2 = 0, tüm altkanalları yaz.

**KART 12.2 PRINTR(I) (I=1-N3) Format (24I3)**

Opsiyonel input N3>0

PRINTR = N1 tarafından çağırıldığı takdirde yazılacak olan ısı akısı sıcaklıkları için N3 çubuğun çubuk numaraları okunur.

**KART 12.3 PRINTG(I) (I=1-N5) Format (24I3)**

Opsiyonel input N5>0

PRINTG = N1 tarafından çağırıldığı takdirde yazılacak olan yanal akışlar için N5 yarık (GAP) numarası okunur.

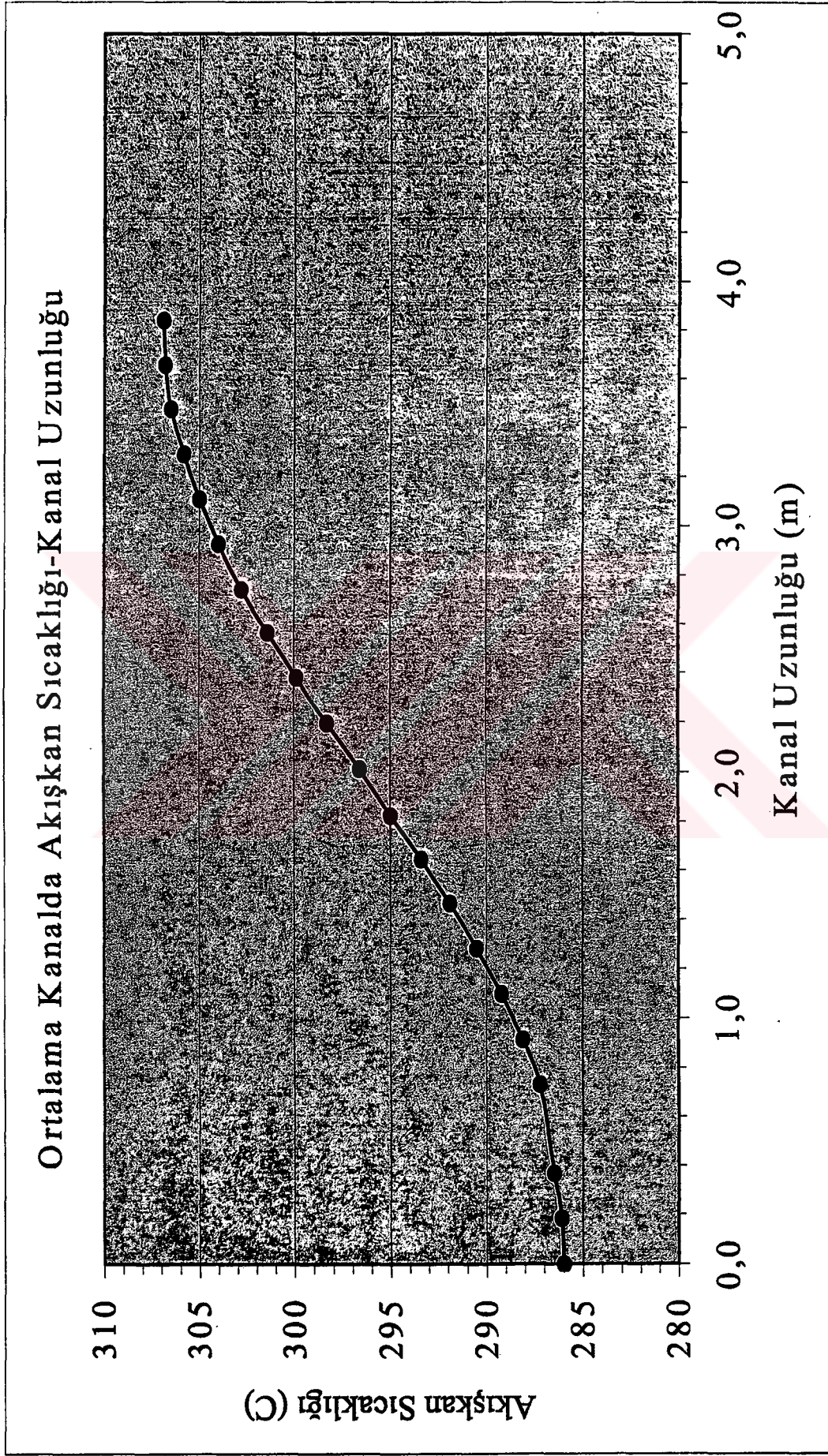
**KART 12.4 IPLITCH(I) (I=1-N7) Format (24I3)**

IPLITCH = N6 tarafından çağırıldığı takdirde yazılacak olan çizgi çizimleri için N7 altkanalın altkanal numaraları okunur.

**KART 12.5 IPLTGP(I) (I=1-N8) Format (24I3)**

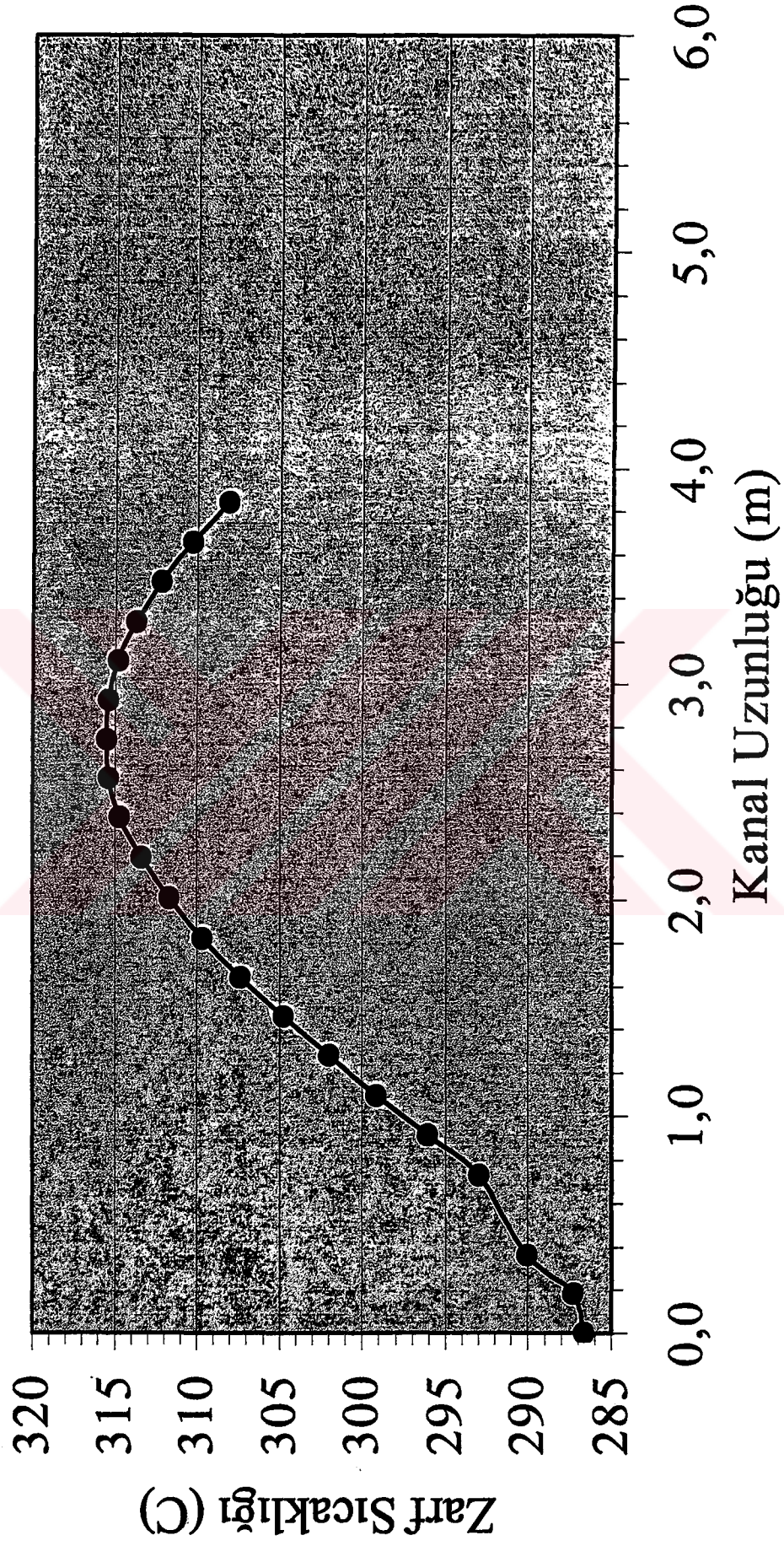
Opsiyonel input N8>0

IPLTGP = N6 tarafından çağırıldığı takdirde yanal akış için çizilecek olan yarıkların sayısı okunur.



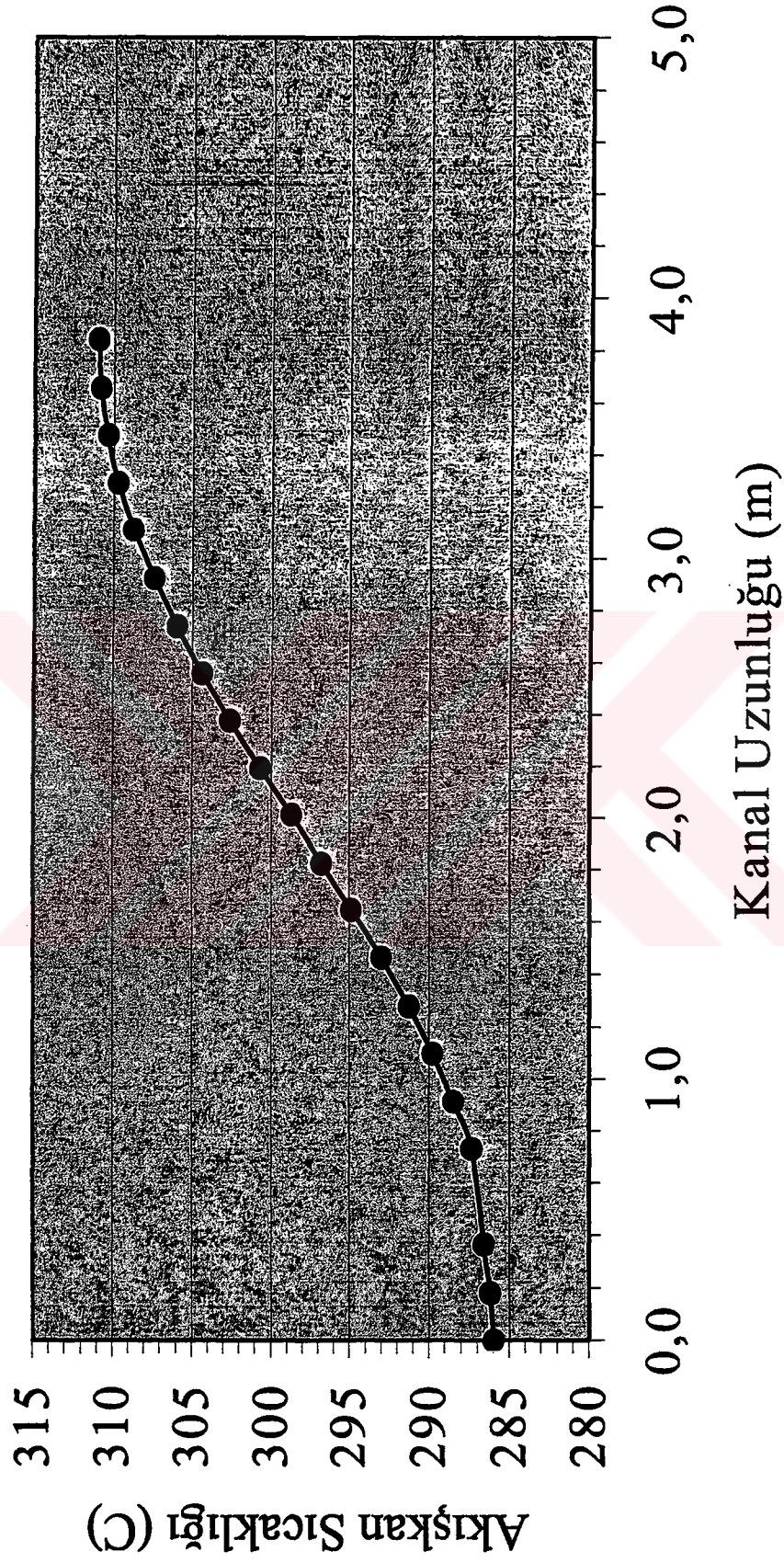
Şekil B.1 Reaktör Normal Operasyonunda Ortalama bir Kanalda Akışkan Sıcaklığının Kanal Boyunca Değişimi.

## Ortalama Kanalda Zarf Sıcaklığı-Kanal Uzunluğu



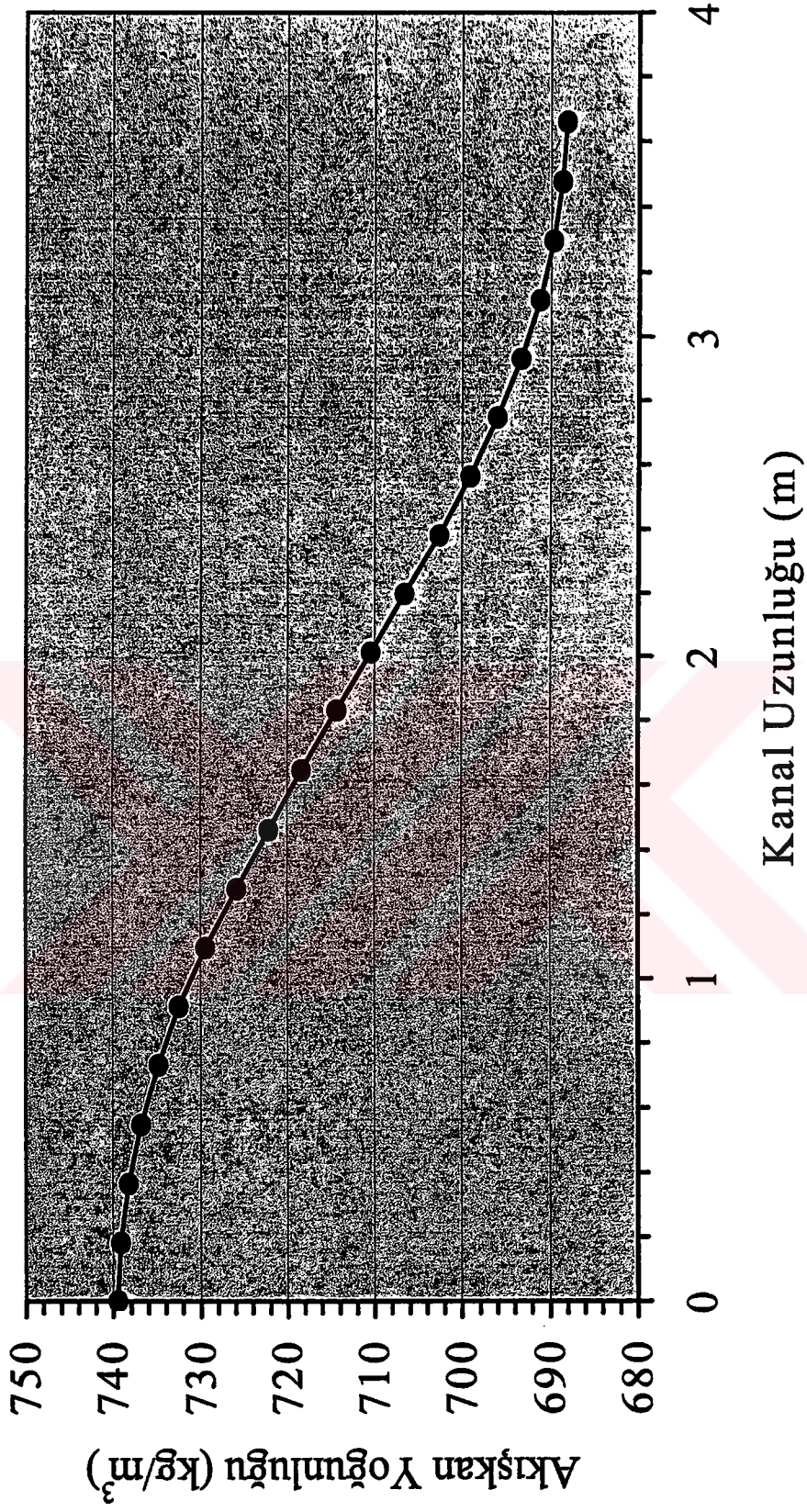
Şekil B.2 Reaktör Normal Operasyonunda Ortalama bir Kanalda Zarf Sıcaklığın Kanal Boyunca Değişimi.

### Sıcak Kanalda Akışkan Sıcaklığı-Kanal Uzunluğu



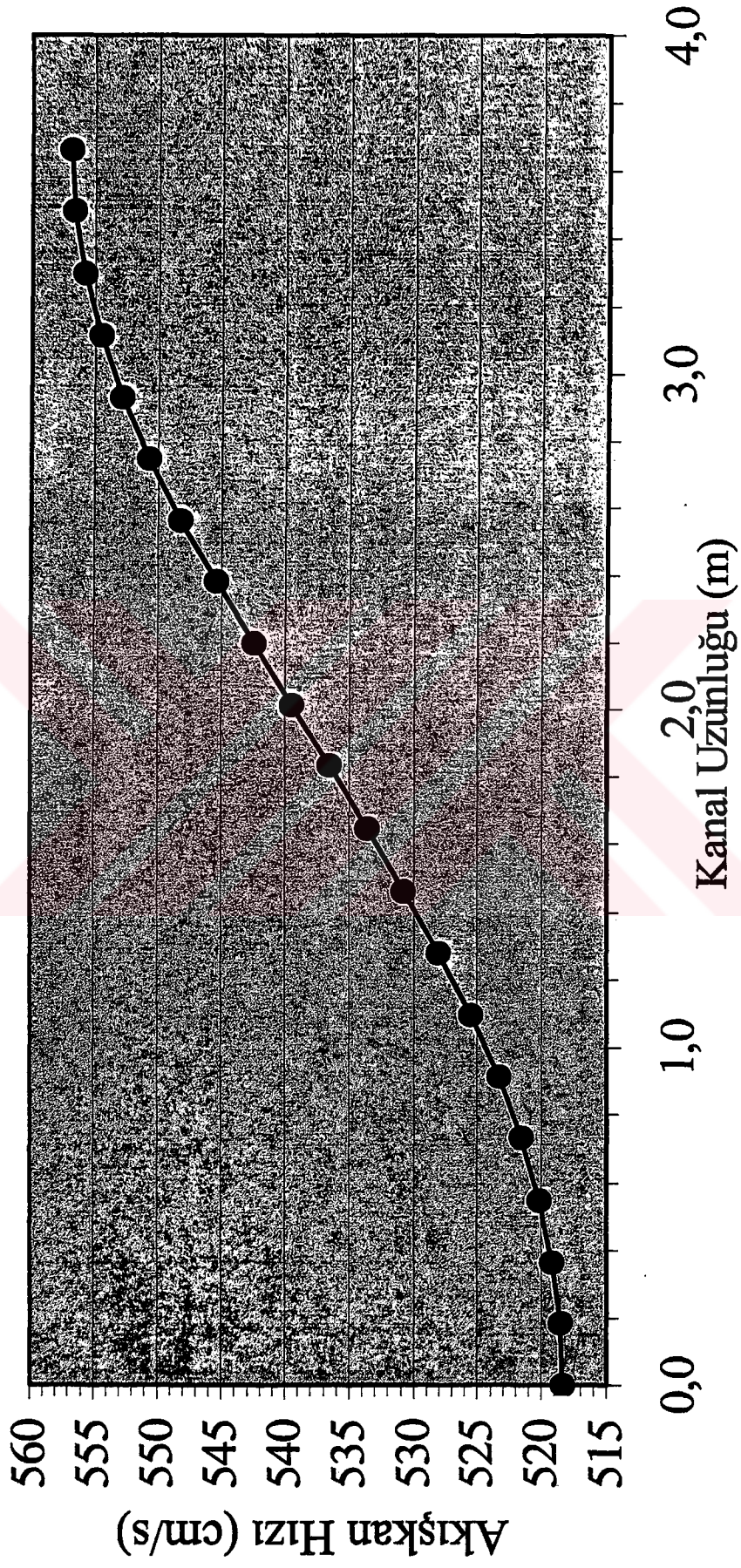
Şekil B.3 Reaktör Normal Operasyonunda Sıcak Kanalda Akışkan Sıcaklığının Kanal Boyunca değişimi.

### Sıcak Kanalda Akışkan Yoğunluğu-Kanal Uzunluğu



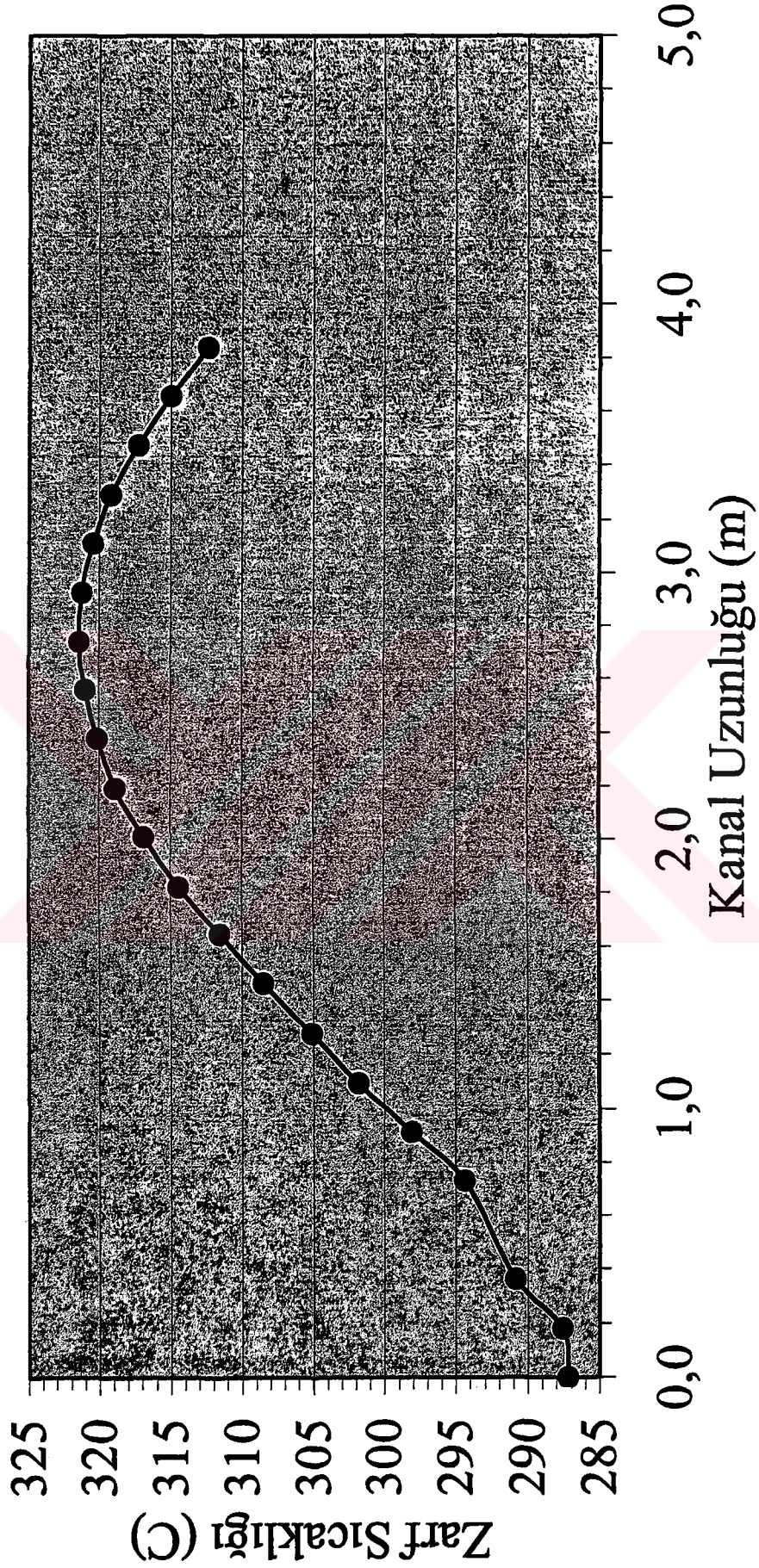
Şekil B.4 Reaktör Normal Operasyonuunda Sıcak Kanalda Akışkan Yoğunluğunun Kanal Boyunca Değişimi.

### Sıcak Kanalda Akışkan Hızı-Kanal Uzunluğu



Şekil B.5 Reaktör Normal Operasyonunda Sıcak Kanalda Akışkan Hızının Kanal Boyunca Değişimi.

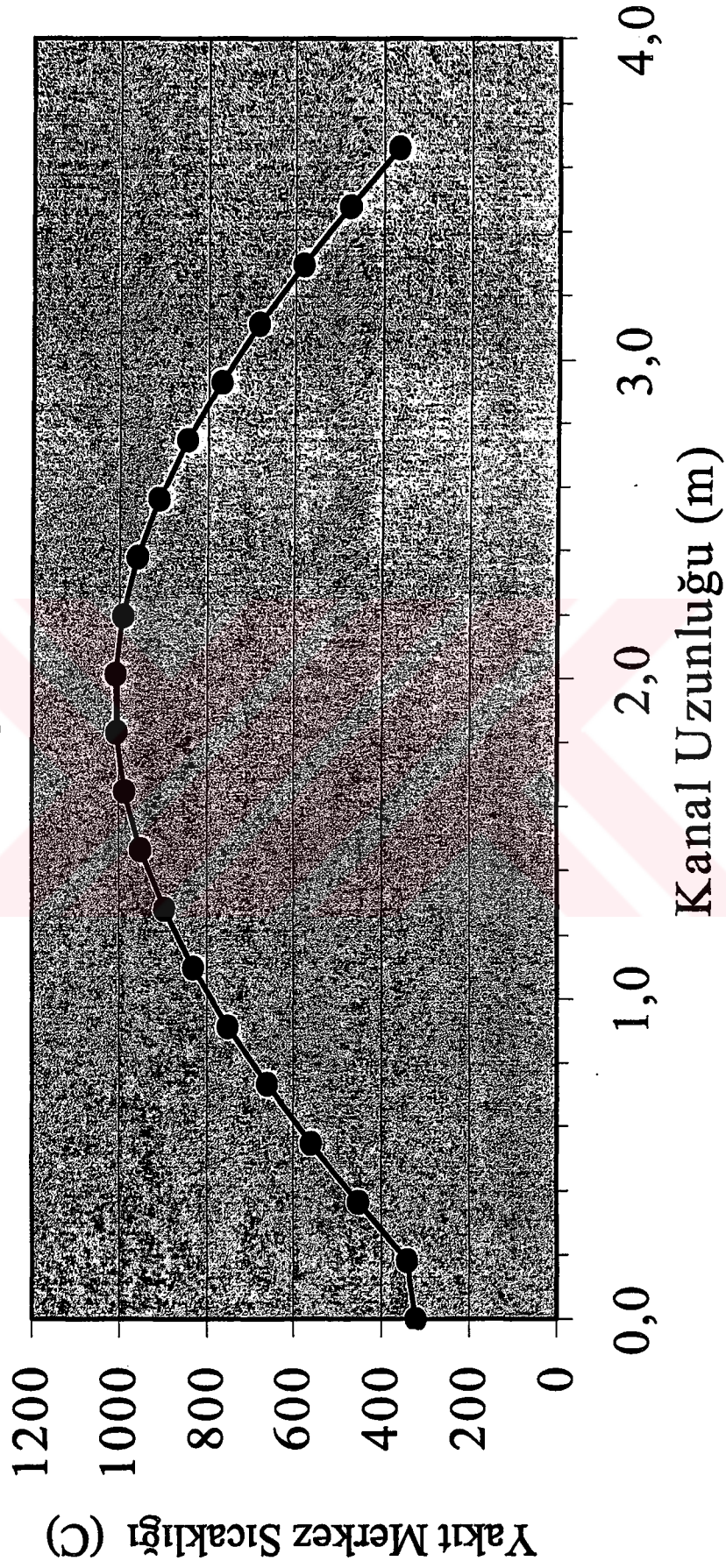
### Sıcak Kanalda Zarf Sıcaklığı-Kanal Uzunluğu



Şekil B.6 Normal Reaktör Operasyonunda Sıcak Kanalda Zarf Sıcaklığının Kanal Boyunca Değişimi.

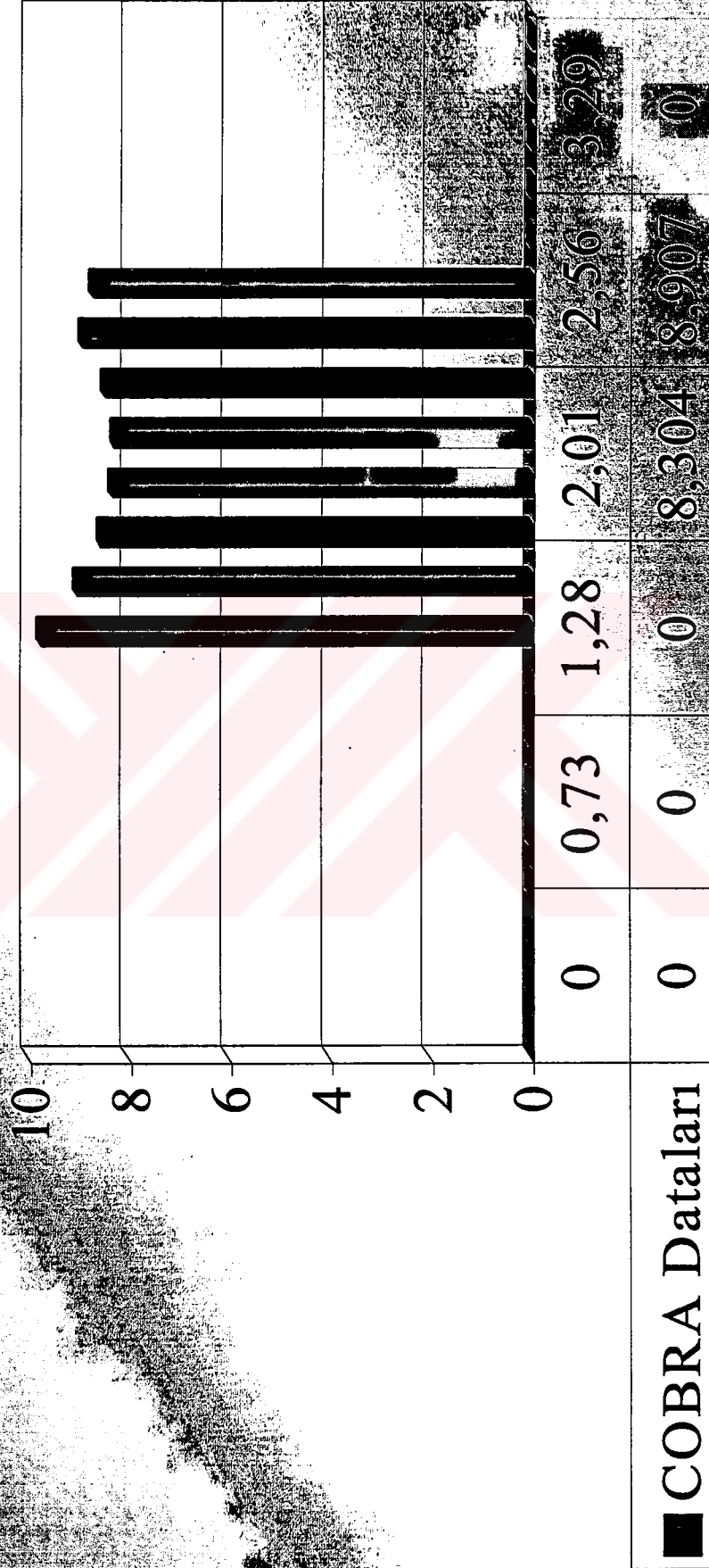
## Sıcak Kanalda Yakıt Merkez Sıcaklığı-Kanal

Uzunluğu

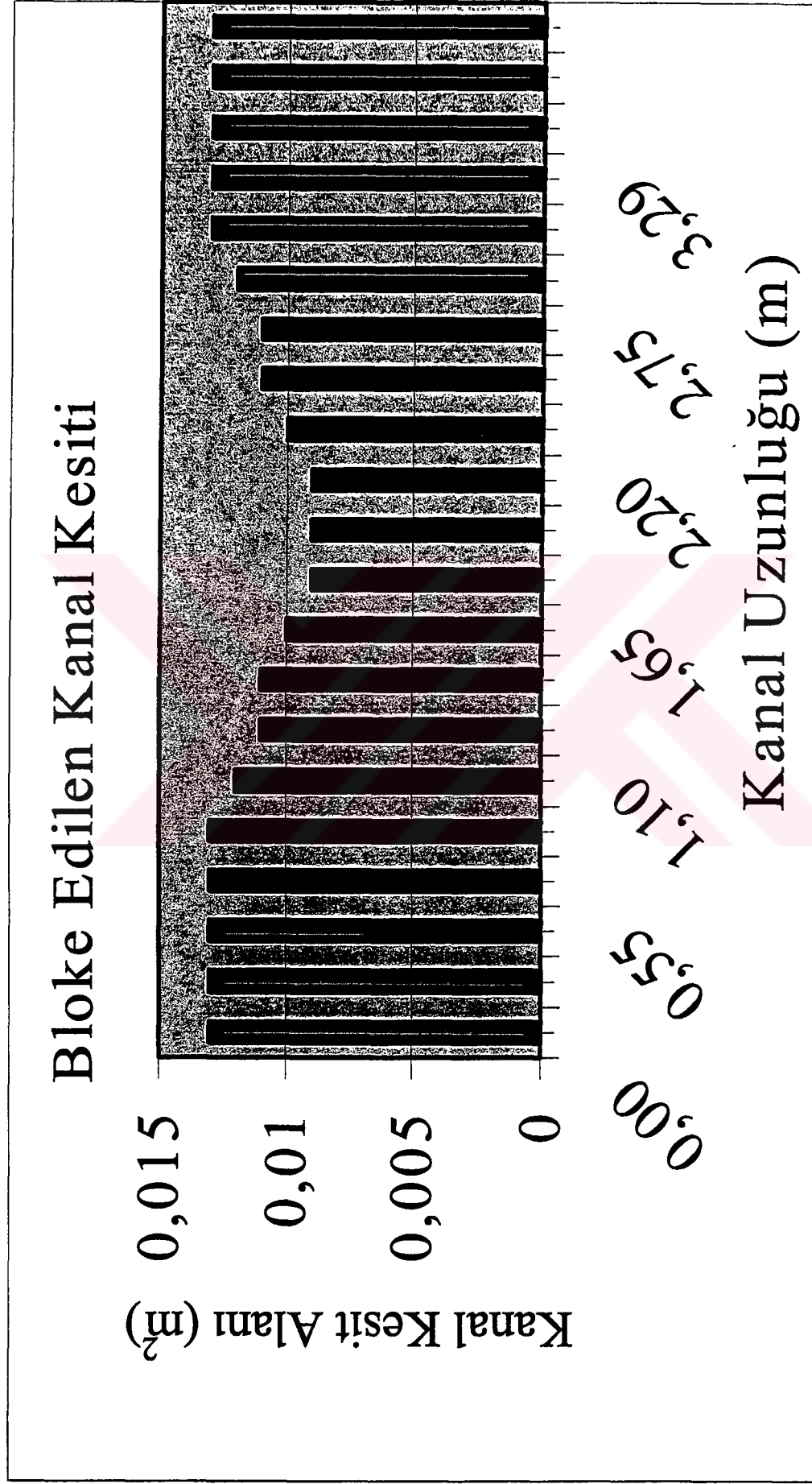


Şekil B.7 Reaktör Normal Operasyonunda Sıcak Kanalda Yakıt Merkez Sıcaklığının Kanal Boyunca Değişimi.

## Sıcak Kanalda DNBR Oranı-Kanal Uzunluğu

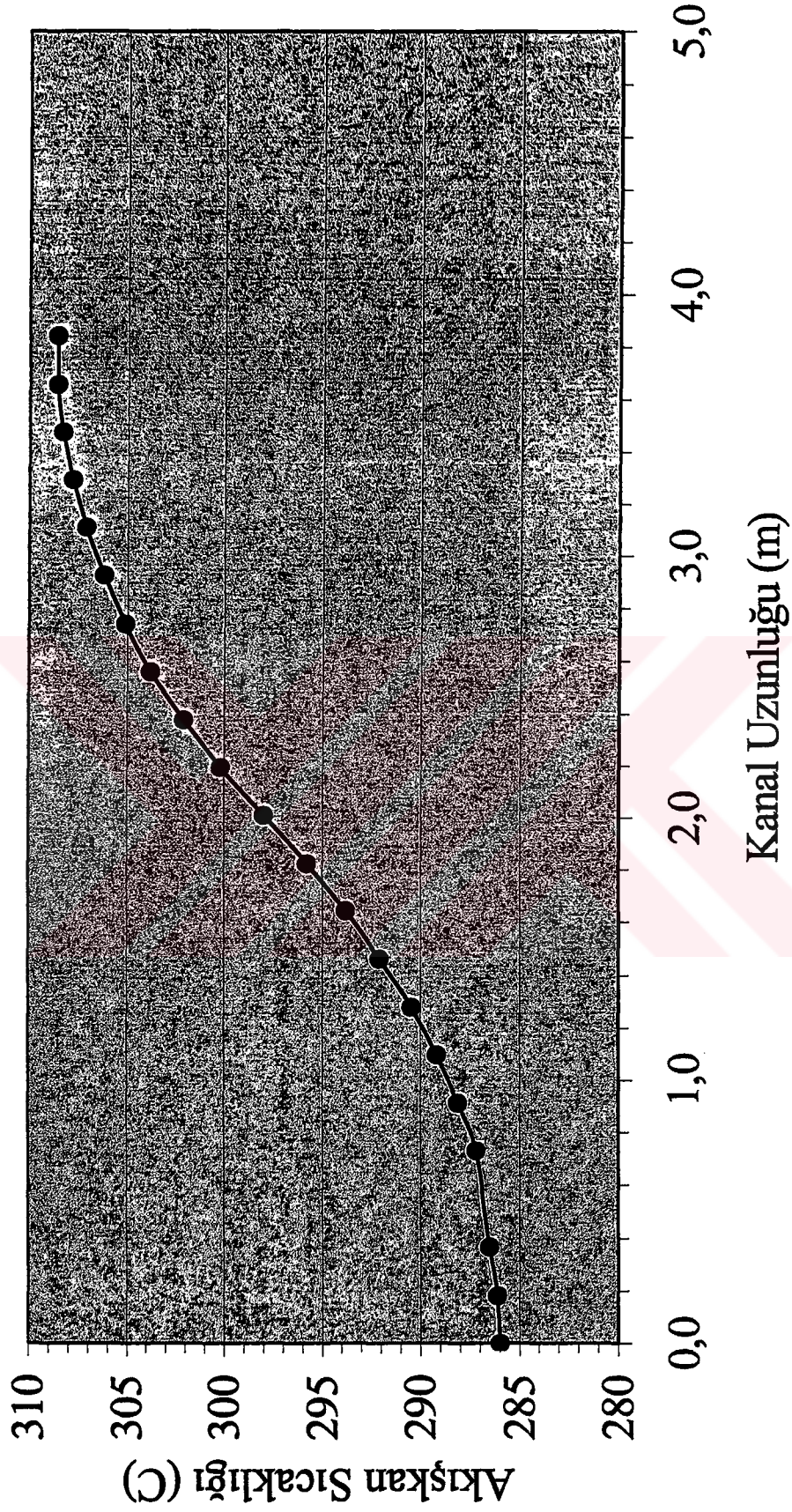


Şekil B.8 Reaktör Normal Operasyonunda Sıcak Kanal için Kanal Boyunca DNBR Oranı.



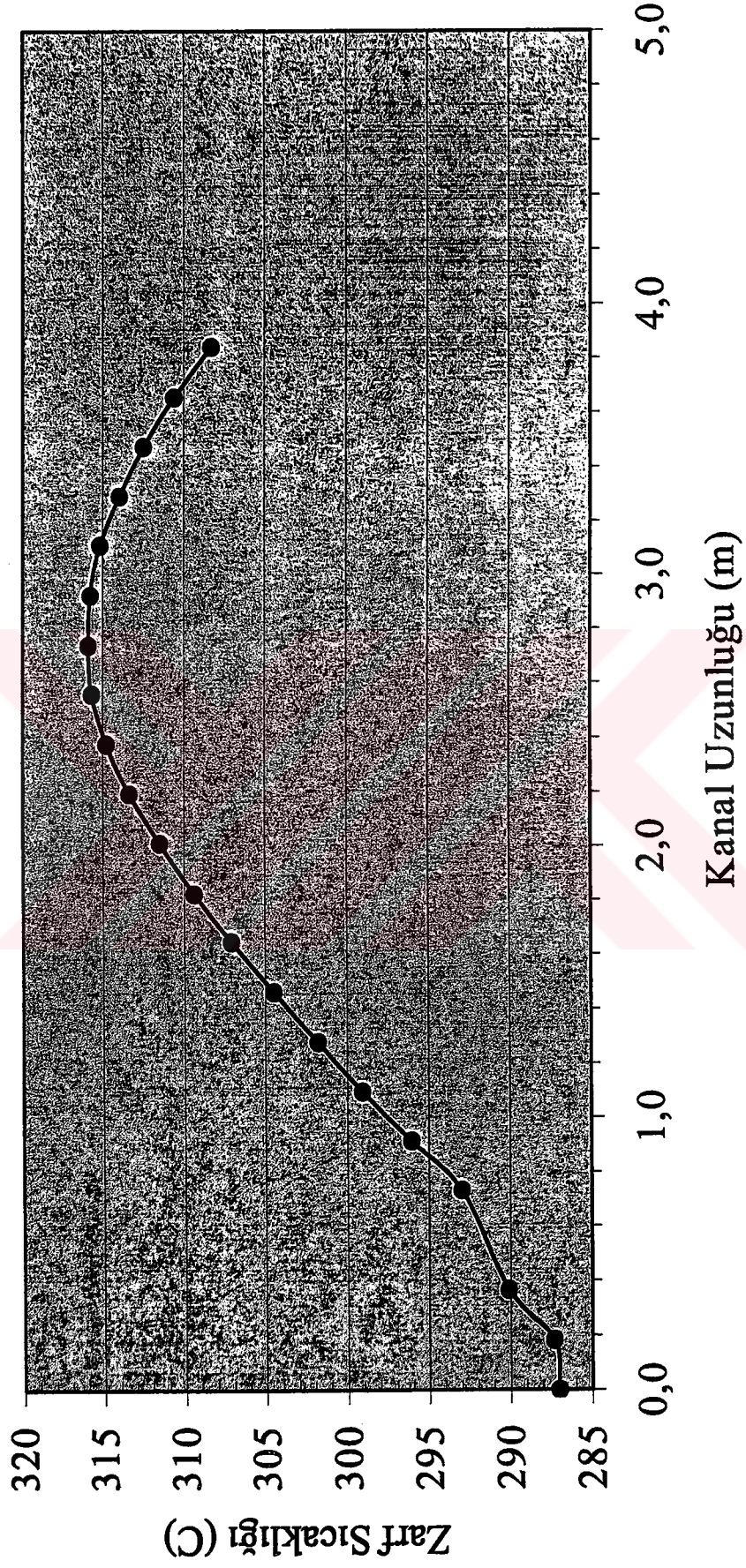
Şekil B.9 Blokaj Kesit Alanı.

### Ortalama Kanalda Blokaj Durumunda Akışkan Sıcaklığı-Kanal Uzunluğu

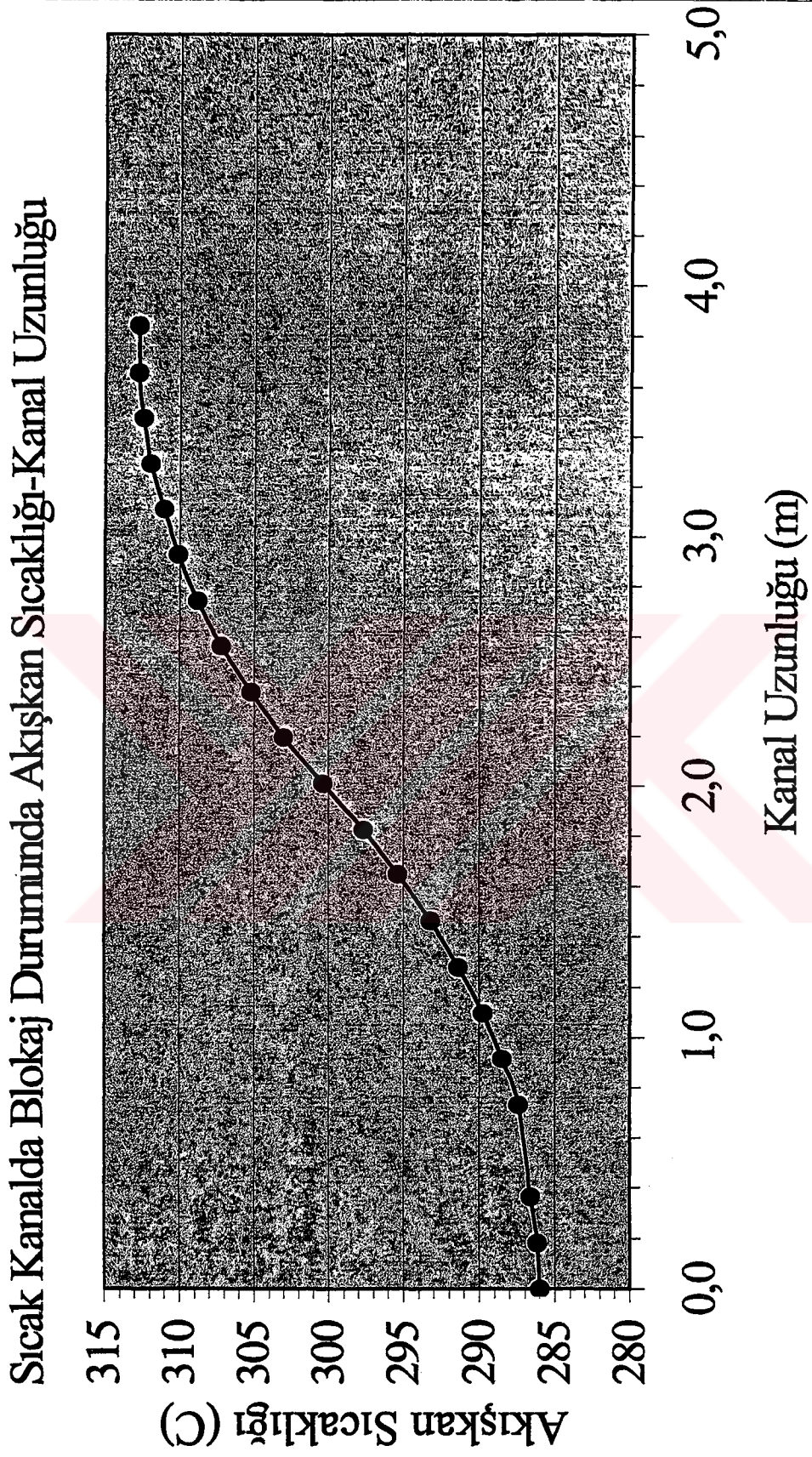


Şekil B.10 Ortalama bir Kanalda Blokaj Durumunda Akışkan Sıcaklığının Kanal Boyunca Değişimi.

Ortalama Kanalda Blokaj Durumunda Zarf Sıcaklığı-Kanal Uzunluğu

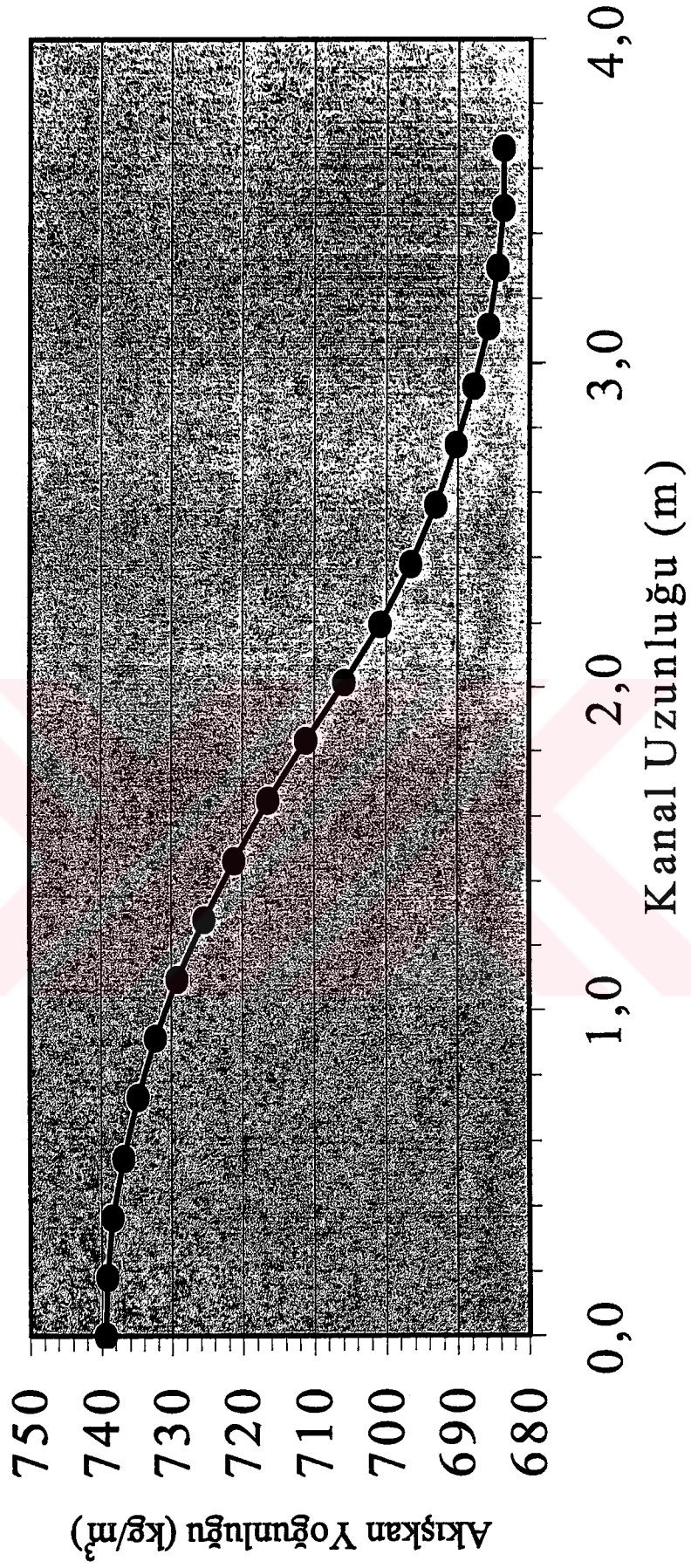


Şekil B.11 Ortalama bir Kanalda Blokaj Durumunda Zarf Sıcaklığının Kanal Boyunca Değişimi.



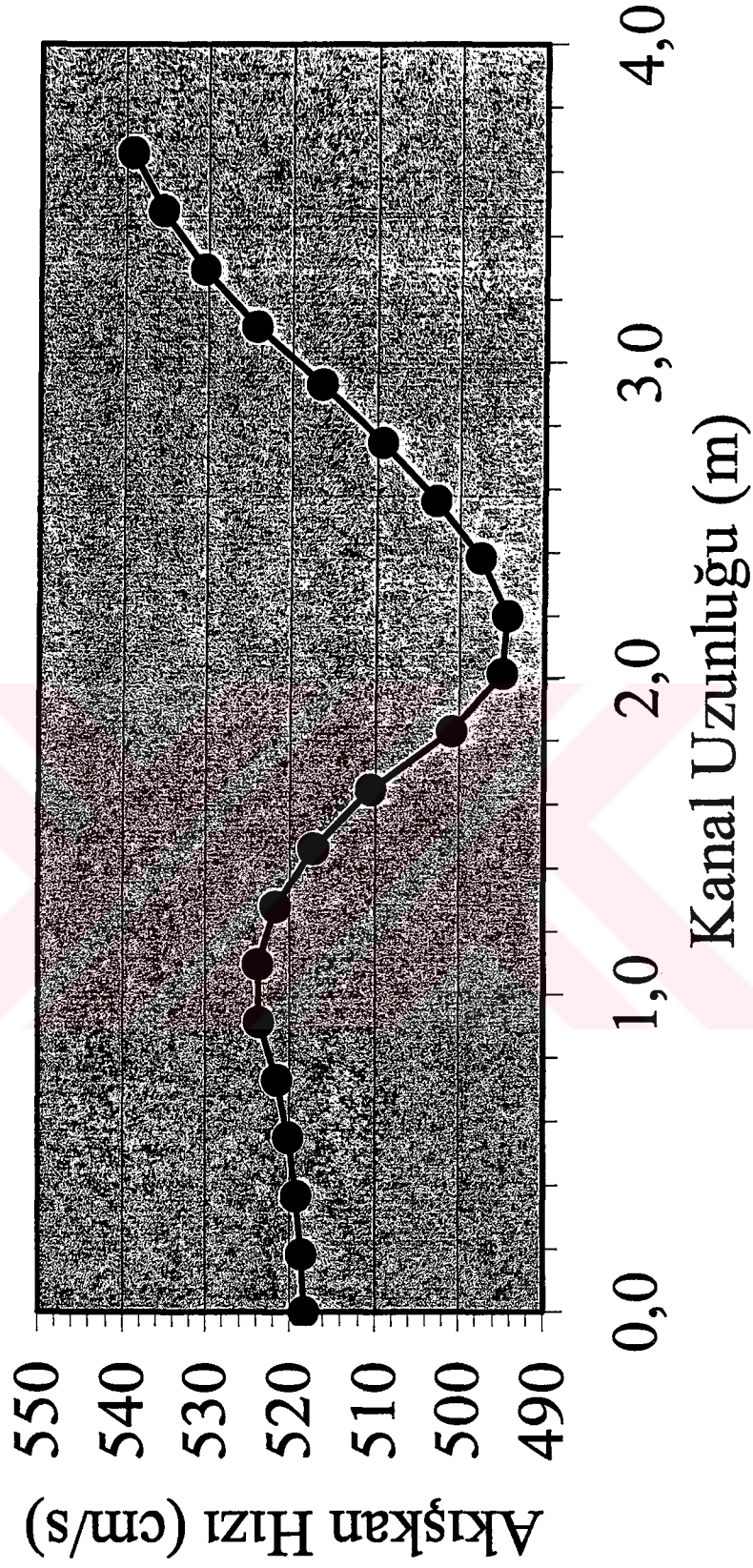
Şekil B.12 Sıcak Kanalda Blokaj Durumunda Akışkan Sıcaklığının Kanal Boyunca Değişimi.

### Sıcak Kanalda Blokaj Durumunda Akışkan Yoğunluğu-Kanal Uzunluğu



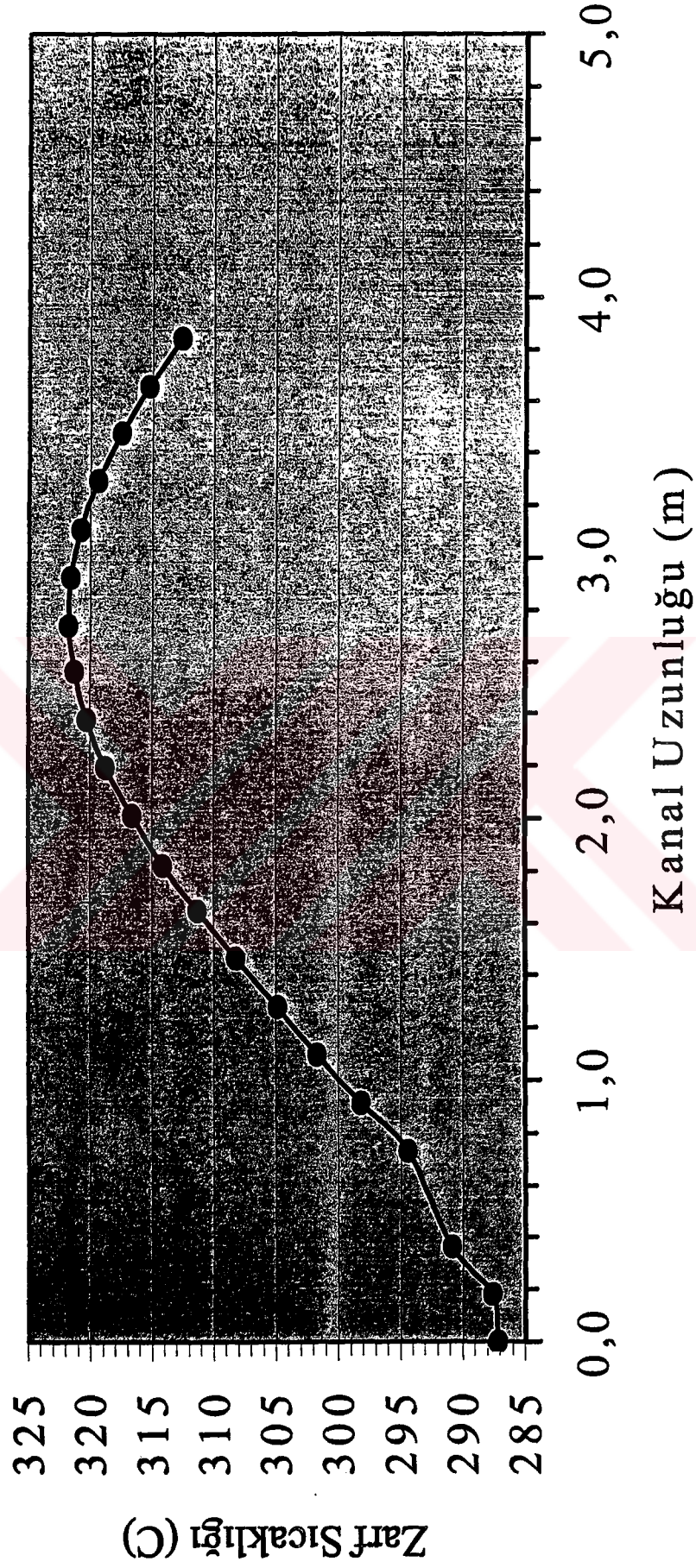
Şekil B.13 Sıcak Kanalda Blokaj Durumunda Akışkan Yoğunluğunun Kanal boyunca Değişimi.

### Sıcak Kanalda Blokaj Durumunda Akışkan Hızı- Kanal Uzunluğu



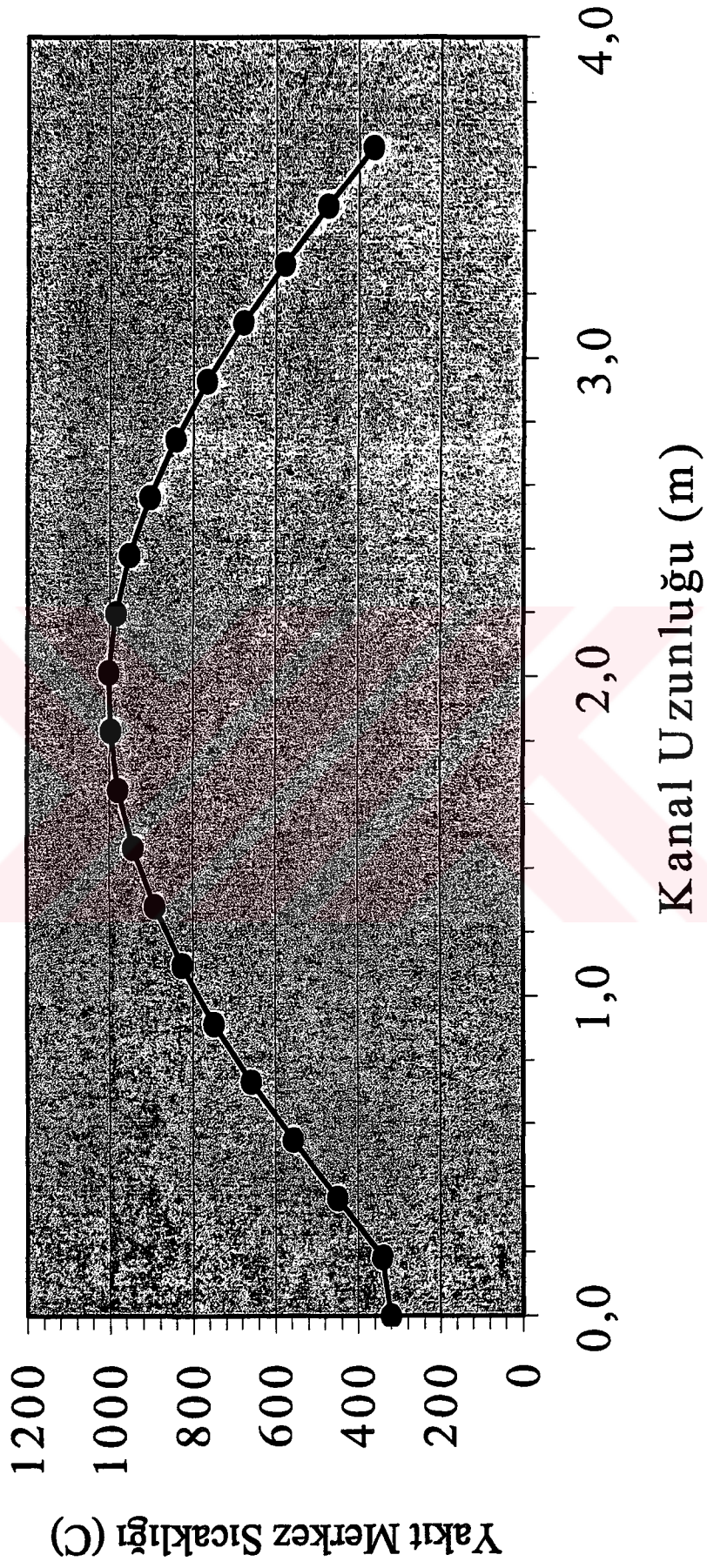
Şekil B.14 Sıcak Kanalda Blokaj Durumunda Akışkan Hızının Kanal Boyunca Değişimi.

# Sıcak Kanalda Blokaj Durumunda Zarf Sıcaklığı-Kanal Uzunluğu



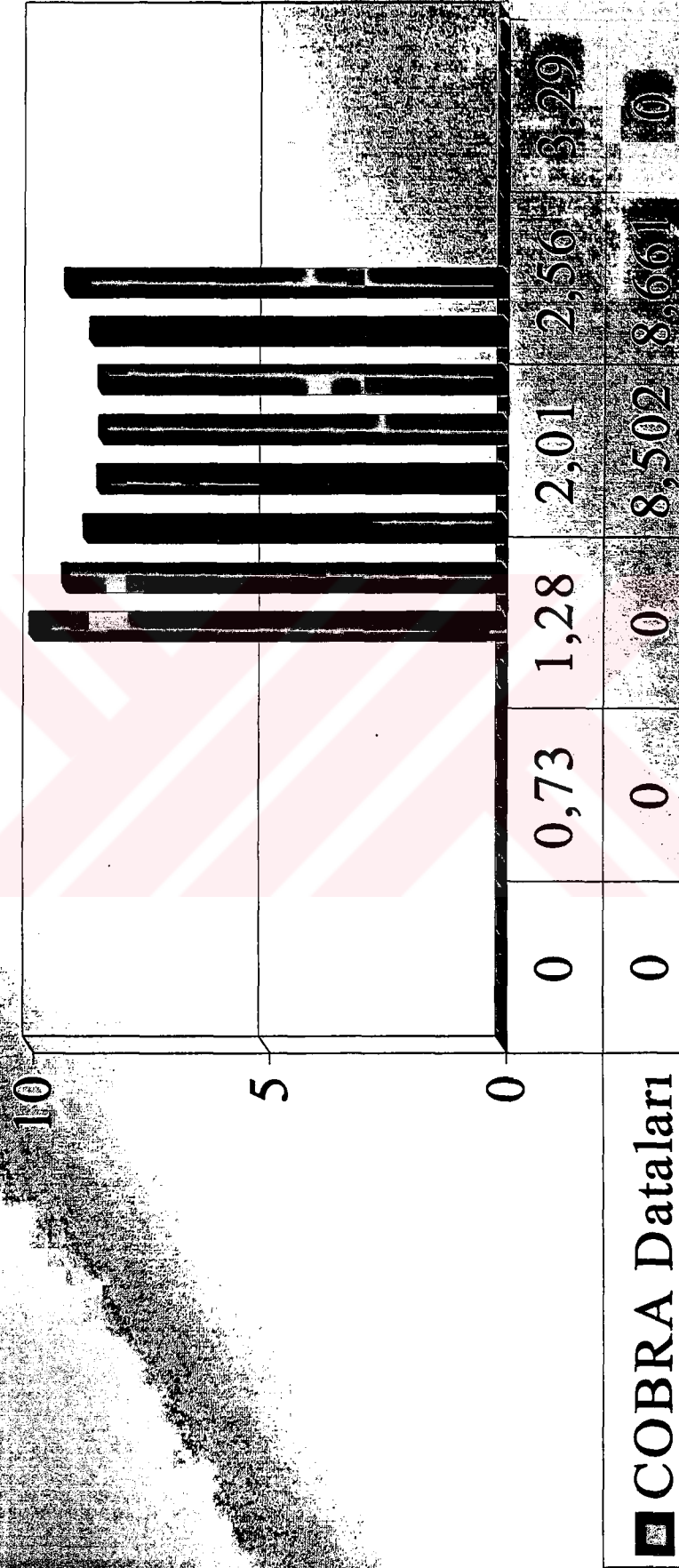
Şekil B.15 Sıcak Kanalda Blokaj Durumunda Zarf Sıcaklığının Kanal Boyunca Değişimi.

Sıcak Kanalda Blokaj Durumunda Merkez Sıcaklığı-  
Kanal Uzunluğu



Şekil B.16 Sıcak Kanalda Blokaj Durumunda Yakıt Merkez Sıcaklığının Kanal Boyunca Değişimi.

## Sıcak Kanalda Blokaj Durumunda DNBR Oranı



ŞekilB.17 Blokaj Durumunda Sıcak Kanal için Kanal Boyunca DNBR Oranı.

## ÖZGEÇMİŞ

1974 yılı Ankara doğumlu Ahmet Ege; ilk, hazırlık ve ortaokul öğrenimini Ankara Özel Yükseliş Koleji'nde tamamladıktan sonra lise öğrenimine başladığı Ankara Özel Yüce Fen Lisesini bitirmek yerine fen liseli öğrencilerin izlediği gelenkesel yolla son sınıfta Çankaya Lisesine geçerek bu liseden mezun oldu. 1993 yılı üniversite sınavlarında girdiği Hacettepe Üniversitesi Nükleer Enerji Mühendisliği bölümünü 1998 yılında bitirdi ve aynı yıl özel bir firmada teknik çevirmen olarak otuzu aşkın patentin resmi çevirisini tamamladı. 1999 yılı sonunda Boğaziçi Üniversitesi Makine Mühendisliği ve Sistem & Kontrol Mühendisliği bölümlerinde yüksek lisansa kabul edilmesine karşın Boğaziçi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde nükleer enerji mühendisliği ve makine mühendisliği arasındaki lisans fark derslerini tamamlayarak buradaki eğitimine son verdi.