



CİLT VOL	7	SAYI NO	1	HAZİRAN JUNE	1992	ISSN 1019-1011
-------------	---	------------	---	-----------------	------	----------------

İÇİNDEKİLER
(CONTENTS)

Implementation Experience of Sparse Matrix Package in Different Programming Languages: C, Fortran and Pascal <i>C, Fortran ve Pascal Programlama Dillerinde Seyrek Matris Yazılımı Uygulaması</i> Andrzej CICHY, Ziya Gökalp ALTUN, Salih TAŞCI, Tankut YALÇINÖZ	1
Data Structures for Sparse Matrices: Implementation Considerations <i>Seyrek Matris Veri Yapıları: Kullanım Şartları</i> Andrzej CICHY, Ziya Gökalp ALTUN	15
Kış Şartlarında Mahal İç Sıcaklığı Değişimi <i>The Change of Indoor Temperature Under Winter Condition</i> R.Tuğrul OGULATA, Tuncay YILMAZ	31
Helisel Yaylarda Harmonik Titreşim <i>Response of Helicoidal Springs to Harmonic Excitation</i> Vebil HAKTANIR, Erhan KIRAL	41
Güneş Enerjisi Uygulamaları ve Türkiye'de Kullanılabilirliği <i>Applications of Solar Energy and Its Utilization in Turkey</i> R.Tuğrul OGULATA, Beşir ŞAHİN	55
Hidrolik Yön Denetim Valflerinin Dinamik Davranışı -Teorik Analiz <i>The Dynamic Behaviour of Directional Control Valves -Theoretical Approach</i> Erdem KOÇ, Beşir ŞAHİN	65
Afşin-Elbistan Kömür Madeninde Çalışan Ekskavatörlerdeki Metalsel Aşınma Kayıplarının Enerji Eşdeğerinin Araştırılması <i>The Energy Equivalent of Material Loss on Excavator Blades Working in Afşin-Elbistan Coal Mine</i> M.Baki KARAMIŞ, Durmuş ODABAŞ, Şeref GÖKSU	79
Metal ve Alaşımların Yüksek Sıcaklık Oksidasyon Mekanizması <i>High Temperature Oxidation Mechanism of Metals and Alloys</i> O.Tuğrul GÖNCEL, Abdulkadir YAŞAR	87
Robotic Arc Welding with Adaptive Control <i>Uygulama Kontrollü Robotik Ark Kaynağı</i> Zafer DÜLGER, Erdinç KALUÇ	105

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ
DERGİSİ

Çukurova University, Journal of Faculty of Engineering and Architecture

Sahibi

Aziz ERTUNÇ

Çukurova Üniversitesi

Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dekanı

Editör

Mesut ANIL

YAYIN KURULU

Mesut ANIL

Cengiz DÜNDAR

Fikret İŞLER

Beşir ŞAHİN

Yusuf GÜRÇİNAR

YAZI İNCELEME KURULU (Editorial Board)

Nur AKIN (İ.T.Ü.)	İ.Deniz AKÇALI (Ç.Ü.)
Orhan AKSOĞAN (Ç.Ü.)	Ergin ARIOĞLU (İ.T.Ü.)
Fazlı ARSLAN (K.T.Ü.)	Mustafa ARSLANER (K.T.Ü.)
Ahmet AYHAN (S.Ü.)	Teoman AYHAN (K.T.Ü.)
Fevzi BİNGÖL (F.Ü.)	Ergüzer BİNGÖL (M.T.A.)
Atıla BOZACI (İ.T.Ü.)	Gürel ÇAM (G.Ü.)
Ataman DEMİR (M.S.Ü.)	Cavit DEMİRKOL (Ç.Ü.)
Tuncay EGE (G.Ü.)	Ayhan ERLER (O.D.T.Ü.)
İlhan ERHAN (M.S.Ü.)	Veysel EROĞLU (İ.T.Ü.)
Okay EROSKAY (İ.Ü.)	Aziz ERTUNÇ (Ç.Ü.)
Ergun GEDİKOĞLU (İ.T.Ü.)	Tuğrul GÖNCEL (Ç.Ü.)
Cemal GÖNCÜOĞLU (O.D.T.Ü.)	M.Yılmaz GÜRLEYİK (K.T.Ü.)
Cahit HELVACI (D.E.Ü.)	Erdiç KALUÇ (İ.T.Ü.)
M.Baki KARAMIŞ (E.Ü.)	Erdal KEREY (F.Ü.)
Erhan KIRAL (Ç.Ü.)	Salih KIRKGÖZ (Ç.Ü.)
Erdem KOÇ (Ç.Ü.)	Muhammet KÖKSAL (G.Ü.)
Engin MERİÇ (İ.Ü.)	Güven ÖNAL (İ.T.Ü.)
İ.Kutay ÖZAYDIN (Y.Ü.)	Işık ÖZPEKER (İ.T.Ü.)
Kazım PIHTILI (F.Ü.)	Yusuf TATAR (F.Ü.)
M.Arslan TEKİNSOY (Ç.Ü.)	Selçuk TOKEL (K.T.Ü.)
Gökhan UZGÖREN (İ.Ü.)	İbrahim UZMAY (E.Ü.)
Servet YAMAN (Ç.Ü.)	Tahir YAVUZ (K.T.Ü.)
Tuncay YILMAZ (Ç.Ü.)	Yücel YILMAZ (İ.T.Ü.)

YAZIŞMA ADRESİ:

Ç.Ü.Mühendislik-Mimarlık Fakültesi

Dergi ve Yayın Kurulu Başkanlığı

01330 Balcalı/ADANA



ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ
DERGİSİ

ÇUKUROVA UNIVERSITY
JOURNAL OF FACULTY OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE

CİLT 7 SAYI 1 HAZİRAN 1992 ISSN 1019-1011
VOL 7 NO 1 JUNE 1992

İÇİNDEKİLER
(CONTENTS)

- Implementation Experience of Sparse Matrix Package in Different Programming Languages: C, Fortran and Pascal
C, Fortran ve Pascal Programlama Dillerinde Seyrek Matris Yazılımı Uygulanması
Andrzej CICHY, Ziya Gökalp ALTUN, Salih TAŞÇI, Tankut YALÇINÖZ1
- Data Structures for Sparse Matrices: Implementation Considerations
Seyrek Matris Veri Yapıları: Kullanım Şartları
Andrzej CICHY, Ziya Gökalp ALTUN15
- Kış Şartlarında Mahal İç Sıcaklığı Değişimi
The Change of Indoor Temperature Under Winter Condition
R.Tuğrul OĞULATA, Tuncay YILMAZ31
- Helisel Yaylarda Harmonik Titreşim
Response of Helicoidal Springs to Harmonic Excitation
Vebil HAKTANIR, Erhan KIRAL41
- Güneş Enerjisi Uygulamaları ve Türkiye'de Kullanılabilirliği
Applications of Solar Energy and Its Utilization in Turkey
R.Tuğrul OĞULATA, Beşir ŞAHİN55
- Hidrolik Yön Denetim Valflerinin Dinamik Davranışı -Teorik Analiz
The Dynamic Behaviour of Directional Control Valves -Theoretical Approach
Erdem KOÇ, Beşir ŞAHİN65
- Afşin-Elbistan Kömür Madeninde Çalışan Ekskavatörlerdeki Metalsel Aşınma Kayıplarının Enerji Eşdeğerinin Araştırılması
The Energy Equivalent of Material Loss on Excavator Blades Working in Afşin-Elbistan Coal Mine
M.Baki KARAMIŞ, Durmuş ODABAŞ, Şeref GÖKSU79
- Metal ve Alaşımların Yüksek Sıcaklık Oksidasyon Mekanizması
High Temperature Oxidation Mechanism of Metals and Alloys
O.Tuğrul GÖNCEL, Abdulkadir YAŞAR87
- Robotic Arc Welding with Adaptive Control
Uygulama Kontrollü Robotik Ark Kaynağı
Zafer DÜLGER, Erdi KALUÇ105

Eğik Eğilme ve Eksenel Yük Altında Gelişigüzel Geometriye Sahip Betonarme Elemanların Taşıma Gücü Hesabı <i>Ultimate Strength Analysis of Arbitrarily Shaped Reinforced Concrete Members Under Biaxial Bending and Axial Load</i> Cengiz DÜNDAR, Bülent ŞAHİN	115
Eğik Eğilme ve Eksenel Yük Altında Gelişigüzel Geometriye Sahip Betonarme Elemanların Taşıma Gücü Hesabına Yönelik Bir Bilgisayar Programı <i>A Computer Program for Ultimate Strength Analysis of Arbitrarily Shaped Reinforced Concrete Members Under Biaxial Bending and Axial Load</i> Cengiz DÜNDAR, Bülent ŞAHİN	125
Belcik (Yıldızeli-Sivas) Yöresinde Bulunan Bazı Nummulites Türlerinin Sistematik İncelemesi <i>Systematic Study of Some Species of the Nummulites of Belcik (Yıldızeli-Sivas) Region</i> Niyazi AVŞAR	151
Kayseri Güneydoğusu (Sarız) Pliyosen Ostrakod ve Gastropod Faunası <i>Pliocene Ostracoda and Gastropoda Faunae of Southeastern Kayseri (Sarız)</i> Ümit ŞAFAK, Atike NAZİK, Muzaffer ŞENOL	171
Koçlar-Karamanlı- Ziyaret Tepe (Bertiz-Kahramanmaraş) Kurşun-Çinko Yatakları <i>Lead-Zinc Deposits of Koçlar-Karamanlı-Ziyaret Tepe (Bertiz-Kahramanmaraş)</i> Mustafa AKYILDIZ, Mesut ANIL	197
ESA Kısa Ayak Sistemi <i>ESA Shortwall Mining Method</i> Sair KAHRAMAN, Mesut ANIL	205
An Investigation of Heat Affected Zone (HAZ) and Heat-Flow During Welding by Computer Simulation Techniques <i>Kaynaklı Konstrüksiyonlarda (ITAB) Bölgesinin ve Isı Akışının Bilgisayar Simülasyon Yöntemiyle İncelenmesi</i> O.Tuğrul GÖNCEL, Ercüment ÜNAL, Onur GÜVEN	217
Öngerilmeli Kirişlerde Kesit Yüksekliğinin Seçilmesinde Pratik Bir Formül <i>A Simple Formula for the Determination of Required Depth of Prestressed Concrete Beams</i> Cengiz DÜNDAR, İsmail Hakkı ÇAĞATAY	231
İnşaat Sektöründe Enerji Tasarrufu Sağlamanın Ekonomiye ve Ekolojik Dengenin Korunmasına Katkı Olanakları <i>The Contribution Possibilities of Obtaining Energy Save in Building Sector to the Economy and the Preservation of Ecological Equilibrium</i> Yusuf GÜRÇINAR	239
Silindirik Yapı Etrafında Dış Akımda Akış Kaynaklı Titreşimler İçin Ard-İz/Osilatör Modeli <i>Wake Oscillator Model for Flow-Induced Vibrations in External Flow Around Cylindrical Structures</i> Suat CANBAZOĞLU	249

IMPLEMENTATION EXPERIENCE OF SPARSE MATRIX PACKAGE IN DIFFERENT PROGRAMMING LANGUAGES: C, FORTRAN AND PASCAL

Andrzej CICHY, Ziya Gökalp ALTUN, Salih TAŞÇI and Tankut YALÇINÖZ

Çukurova University Department of Electrical and Electronics Engineering, Adana/Türkiye

ABSTRACT : *This paper describes a structure of a sparse matrix package for symmetrical positive definite matrices or matrices with the dominant diagonal prepared in three programming languages: FORTRAN, Pascal and C. All three versions have used the linked list method for storing the sparse matrices. They have been tested for irregular sparse matrices, typical for electrical power system, and for regular band sparse matrices, typical for elliptical partial differential equations. For C version it was necessary to introduce a modification in the storage organization in order to avoid the excessive memory consumption. After this modification the C version was found to be the fastest and the least memory consuming.*

C, FORTRAN VE PASCAL PROGRAMLAMA DİLLERİNDE SEYREK MATRİS YAZILIMI UYGULAMASI

ÖZET : *Bu çalışmada FORTRAN, Pascal ve C programlama dillerinde hazırlanmış simetrik pozitif belirli matrislerin ya da baskın diyagonal matrislerin çözümü için seyrek matris uygulamasının yapısı anlatılmaktadır. Üç programlama dilinde de seyrek matrislerin depolanması için bağlantılı listeleme metodu kullanılmaktadır. Programlar elektriksel güç sistemlerinde tipik olan düzensiz seyrek matrisler ve eliptik kısmi diferansiyel denklemlerinde tipik olan düzenli seyrek bant matris çözümleri için test edilmiştir. C yazılımında aşırı bellek kullanımını önlemek üzere depolama organizasyonunda değişiklik yapmak gerekmiştir. Bu değişiklikten sonra C yazılımının en hızlı ve en az bellek harcayan yazılım olduğu gözlenmiştir.*

1. INTRODUCTION

The software environment of main frame computers and personal microcomputers offers system designer many possibility in selection of programming language. In 60-70'ies, till the mid 80'ies, FORTRAN was treated as an only serious candidate for developing software for electrical powers systems analysis. Several papers have been published recently, which consider the application of other programming languages like Pascal [1-4], C [4] and Ada [4]. However, most of these papers restrict their interest to presentation only the basic features of a particular language without serious quantitative studies of large real-life problems.

The sparse matrix technology plays leading role in the electrical power system analysis. Therefore the sparse matrix software has been selected for the practical comparison of the most popular programming languages: FORTRAN, Pascal and C. There are several packages for solving the linear algebraic equations with sparse matrices, but all of them are written in FORTRAN [5-11]. The paper presents a sparse matrix package for solving the system of positive definite or matrices with the dominant diagonal developed in C. The package has been compared with its counterparts written in FORTRAN 77 and Pascal. All three versions have used the same data structure for storing the sparse matrices: linked lists. Two different physical storage structures have been tested for application in this package.

The basic purpose of this paper was to compare the efficiency of implementation of identical numerical procedures in the different programming languages.

2. STRUCTURE OF SPARSE MATRIX PACKAGE

2.1. General description

The SParse Matrix package (SPM) was developed for solving the systems of linear algebraic equations with the symmetric positive definite matrices or diagonal dominant matrices.

The solution of the equations system is divided into four steps [15]:

- forming the sparse matrix from the input data. The input data can be prepared by another program and stored in the text disk file, for instance in the form of triples: (row_no, col_no, element_value), or can be generated during any other calculations and added to a sparse matrix. There are two basic procedures for adding a new element to a sparse matrix. They mimic the typical assignment for a matrix element: A [row_no,col_no]=element_value. Depending on the applied procedure the obtained matrix can be unordered or ordered in a row with respect to the column indices,

- symbolic factorization. The factorization is performed only on the indices and the final form of matrix is generated (the position of new nonzero elements are determined). In order to minimize the number of new nonzeros the optimally ordered factorization is performed using the minimal degree algorithm. The minimal degree algorithm chooses as a candidate for elimination the row with the minimum number of elements. The number of nonzeros for every row are stored in a special array. It has been found that the searching through this array for larger systems takes too much time out of the entire computing time. Therefore the strategy of group elimination has been applied. During a successive pass through a matrix the rows with the same minimum number of nonzero elements are selected and their indices are registered as the group of candidates for elimination. Afterwards all registered rows from the group are eliminated,

- numerical factorization. In this step the actual numerical calculation are performed, using the structure obtained during the symbolic factorization,

- proper solution. Using the factors obtained from the numerical factorization the forward and backward substitutions are performed for any right hand side (RHS) vectors. The procedures for full vectors (complete substitutions, CFS, CBS) and for sparse vectors (fast substitution, FFS, FBS) have been prepared.

Division of the solution process into these steps facilitates solving the systems with the same matrix and different RHS vectors (symbolic and numerical factorization - performed once) and , or the matrix with the same structure and different values of elements (symbolic factorization - performed once).

The matrices may be real or complex. The system with complex matrix is solved by the indirect application of complex arithmetic (the necessary calculation are performed "by hand"). There is also a possibility to solve the system with two real matrices having the same structure of nonzero elements but different values. In this case the pointers and column indices (overhead storage) are stored in one copy as for a single matrix. The processing of these two matrices is made during a single pass through the linked lists.

2.2. Features of particular language versions

The three versions in three programming languages: FORTRAN 77, Pascal and C have been prepared. All tests were performed using IBM/PC XT and AT compatible computers working under MS-DOS system. The following compilers have been used:

FORTRAN - RMFort ver.2.42, Lahey F77L ver. 2.20,

Pascal - Turbo Pascal ver. 3.00, 4.00, MS Pascal (1985),

C - Turbo C, ver. 2.00.

It has been assumed that all versions will apply the linked lists method for the sparse matrix storing. Therefore the transition from FORTRAN to Pascal to C was relatively easy after determining the data structure for a particular language. All three versions are practically identical in the sense of processing. The basic procedures of SPM package are written in the standard versions of a particular language to assure the portability. In all versions the variables were passed as the parameters of procedures or functions.

2.2.1. FORTRAN

FORTRAN version utilizes the only possible way of implementing the linked lists: "parallel" arrays with their indices serving as the pointers. All arrays are of the standard type of integer: INTEGER*4, instead of INTEGER*2. It was caused by the compatibility problems with the other software modules, because of passing all arrays as the procedures parameters. Therefore this version was the most memory consuming.

The execution times for both compilers were approximately the same. Using FORTRAN package it was possible to solve the system with complex coefficient matrix containing 2000 rows and 3000 nonzero elements before, and 6000 elements after elimination.

2.2.2. Pascal and C

The most natural way of implementing the linked list method in Pascal and C is to use: 1^o the record type (Pascal) or the structure type (C), 2^o dynamic memory and pointer variables. Hence in Pascal version and in the first C version the following structure has been used: the array of n linked lists, representing rows of the sparse matrix, where n is the actual dimension of a sparse matrix. Every element in the list array is a record consisting of the following fields: value of diagonal element (real, complex or two reals), number of nonzero elements in a particular row, and the pointer to the beginning of row. Every element of the list is a record containing the following fields: value of element, column number, pointer to the next element in the row. The definition of this structure is presented in Fig.1 for Pascal, and in Fig.2 for C.

CONST

n = 200;

nosys = 2;

IMPLEMENTATION EXPERIENCE OF SPARSE MATRIX PACKAGE

```
TYPE
  sysind = 1..n;
  smaller = ARRAY[1..nosys] OF Real;
  nzptr = ^nonzero;
  row = RECORD
    noze : Integer; { no of nonzero elements per row }
    diag : smaller;
    first : nzptr
  END;
  nonzero = RECORD
    colno : Integer;
    Val : smaller;
    next : nzptr
  END;
  spmr = ARRAY[sysind] OF row;
```

Fig. 1. Linked list structure of the sparse matrix in Pascal.

```
/* nonzero element in a row */
typedef struct nonzero {
  int colno;
  float va, vb;
  struct nonzero *next;
} NONZERO;

/* NZPTR - pointer to nonzero element in linked list*/
typedef NONZERO *NZPTR;

/* element of an array of rows */
typedef struct {
  int noze; /* no of nonzero elements per row */
  float diaga, diagb;
  NZPTR first;
} ROW; /* struct ROW */

typedef ROW *ROWP;
```

Fig. 2. Linked list structure of the sparse matrix in C.

In both versions described above every successive element of a linked list is allocated directly from the heap and returned directly to the heap using the functions *new*, *dispose* for Pascal, and *malloc*, *free* for C.

The first tests were carried out for the compilers Turbo Pascal ver. 3.00 and 4.00. The execution times were almost identical, except some cases when the code produced from TP ver.4.00 was slightly slower than the one from TP ver.3.00. The code from MS Pascal (1985) was much faster than from Turbo Pascal but only for the internal memory operations. The overall execution time for the codes from both compilers, with the inclusion of data input from disk, were approximately the same.

The execution times for Turbo Pascal and FORTRAN compilers were comparable. Taking into account that the other software modules using this package were prepared in FORTRAN there was no stimulus to continue the development works with Turbo Pascal.

The first version in C was practically a copy of the version in Pascal. The results of comparison of the computation times with FORTRAN versions were very encouraging, especially for larger matrices. For instance for the complex matrix of dimension 1579 rows, 2560 nonzero elements in the upper triangle before elimination, and 5600 - after elimination the following results have been obtained:

- symbolic factorization: 5 times faster than in FORTRAN,
- numerical factorization - 3 times faster than in FORTRAN,
- proper solution - 4 times faster than in FORTRAN.

Tab. 1. Results of comparison (matrices from power systems network)

Type	Power System		Computer
	nodes	branches	
A	1579	2560	AT386 - 25MHz + 80387 - 20MHz (code for 80286 + 80287)
B	225	255	as above
C	1579	2560	AT286 - 16MHz + 80287 - 10MHz (code for 80286 + 80287)
D	225	255	as above

Case	Sym. fact. [s]	Num. fact. [s]	Solution [s]	No of elements		Program. language
				before	after	
A	2.1	4.3	0.66	2560	5600	Turbo C FORTRAN
	11.8	13.5	2.5	2560	5600	
B	0.11	0.11	0.05	255	378	Turbo C FORTRAN
	0.49	0.44	0.1	255	378	
C	2.1	20.1	2.8	2560	5600	Turbo C
D	0.05	0.49	0.22	255	378	Turbo C

2.2.3. Storage structure in C

In the first version of SPM package every nonzero element has been allocated independently from the heap using standard C function: *malloc* and released using function *free*. After several tests it has been found that the remaining free memory on the heap is much smaller than it should have resulted from the space allocated for the nonzero elements of processed sparse matrix. The detailed organization and structure of heap and heap manager is still unknown to the authors (necessary information has not been found neither in [12] nor [13]). However it appears that every allocated element requires an extra memory allocated from the heap for storing necessary data (for instance, length of allocated block) to release the unused memory. In case of large fragmentation of heap it may create a serious problem.

In order to avoid such difficulties and utilize the linked list method in almost unchanged form the following solution has been suggested: instead of using the system heap it is possible to use a "private heap" (pool of all available elements), for each sparse matrix or for all sparse matrices with the same type of element (all real, or all complex). The private heap acts as a stack, organized with application of the linked list. For the user the unit of allocation is a single record, as in the first version of package. For the system heap manager the number of allocated units is much smaller. The unit of allocation for the system is a package of records. The user has access to the private heap by means of two functions: *getelem* (instead of *malloc*) and *frelem* (instead of *free*). At the beginning during the initialization process a few packages of records are allocated. All records from these packages are linked together to form a list of available elements - the private heap. The number of records in a package can be modified by the user. The pointer to the stack top is stored in the variable *AVAIL*. In addition the pointer array has been introduced with the addresses of each package. This pointer array is used only to facilitate releasing the memory at the end of program. If the private heap becomes empty and the system heap is not empty yet, it is possible to allocate the successive package of records and linked it to the private heap. The idea of the private heap and corresponding storage structure is presented in Fig.4. The definition of this structure in C language is outlined in Fig.3:

```
/* nonzero element in a row */
typedef struct nonzero {
    int colno;
    float va, vb;
    struct nonzero *next;
} NONZERO;
```

```

/* NZPTR - pointer to nonzero element in linked list*/
typedef NONZERO *NZPTR;
/* element of an array of rows */
typedef struct {
    int noze;
    float diaga, diagb;
    NZPTR first;
} ROW; /* struct ROW */
typedef NZPTR PARR; /* PARR - element of pointer array */
typedef ROW *ROWP;
typedef struct {
    NZPTR avail;
    PARR *parrp;
    ROWP rowp;
} SPM; /* struct SPM */

```

Fig.3. Definition of a private heap.

The procedures for allocating and releasing the elements from the private heap are presented below. They are very simple and very fast.

```

#include "spm.h"
/*This function gets a new element from the available list */
NZPTR
getelem(NZPTR *avail)
{
    NZPTR ptr;
    ptr = *avail;
    *avail = (*avail)->next;
    return(ptr);
} /* getelem */

#include "spm.h"
void
frelem(NZPTR pelem, NZPTR *avail)

```

IMPLEMENTATION EXPERIENCE OF SPARSE MATRIX PACKAGE

```

/*This function release an element from the available list avail */
{
    pelem->next = *avail;
    *avail = pelem;
} /* frelem */

```

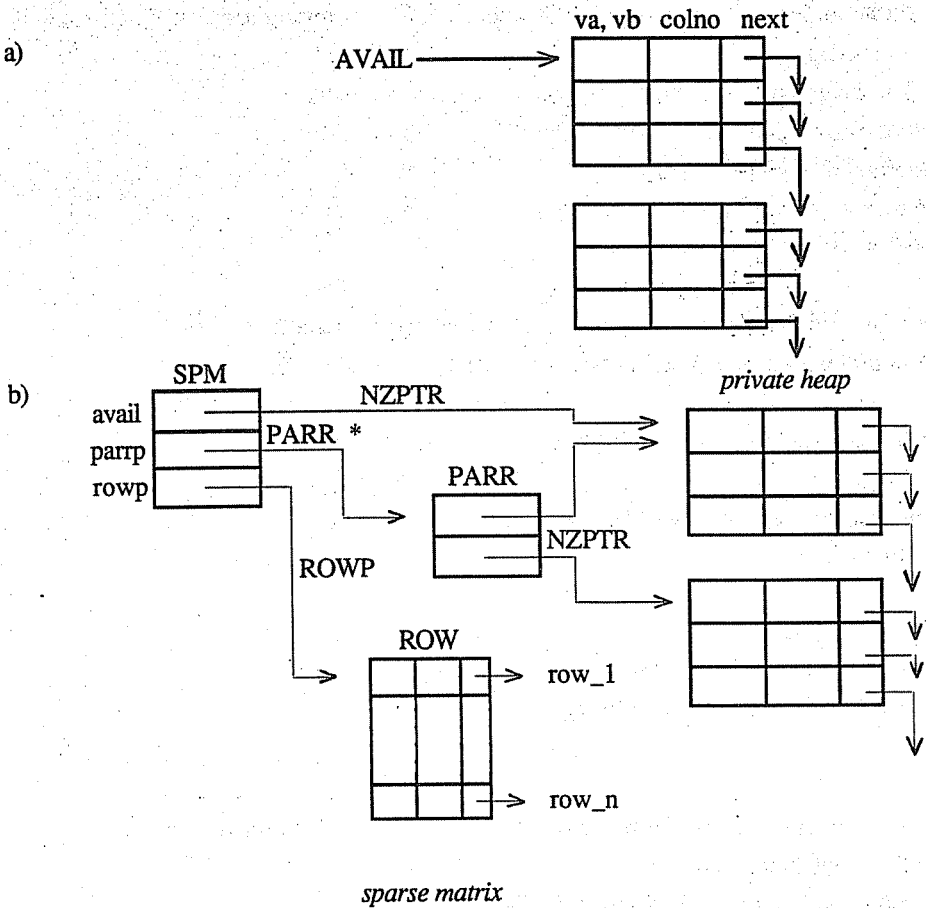


Fig. 4. Data structure for sparse matrix with the private heap
 a) idea of private heap,
 b) storage structure for sparse matrix.

The necessary changes in the first version of SPM package were insignificant. The biggest change had to be made in the initialization procedure, because the

creation of entire structure from Fig.4 was done there. The other procedures practically remained unchanged. Only the procedures *malloc* and *free* had to be substituted by the private heap procedures: *getelem* and *frelem*. The most important was that the whole package performed equally fast as in the first version.

Some auxiliary procedures have been also implemented: fast reenumeration of row and column indices, fast transposition of a sparse matrix, printing a sparse matrix, releasing the memory.

The fragment of the main program is presented below:

```

/* max no of elements in private heap */
#define MAXHEAP 7000
/* max no of rows in sparse matrix */
#define NORMAX 2000

/* Main program for testing SParse Matrix package for symmetric */
/* complex matrix, stored in row wise format. */

void main (int argc, char *argv[])
{
int nor; /* number of rows */
SPM spm;

/* create a private heap */
if (init(MAXHEAP,NORMAX,&spm) == 0) {
printf("Heap overflow in init\n");
exit(111);
}
printf("No of elements before symbolic factorization: %d\n",nonz(nor,spm));
/* Symbolic factorization */
/* nordp and inordp - permutation matrices */
ordug(nor, &spm, &nordp, &inordp);

printf("No of elements after symbolic factorization: %d\n",nonz(nor,spm));
/* Numeric factorization; A := LU */

if (faccn(nor, spm)!=0) printf("Singular matrix");

```

IMPLEMENTATION EXPERIENCE OF SPARSE MATRIX PACKAGE

```
/* Solution: forward and backward substitution;  $Ly = b$ ;  $Ux = y$  */  
  
solcck(nor, spm, 1, nordp, inordp, xap, xbp);  
  
freeall(&spm); /* releasing of memory */  
  
/* create a private heap */  
if (init(MAXHEAP,NORMAX,&spm) == 0) {  
    printf("Heap overflow in init\n");  
    exit(111);  
}  
/* input of a sparse matrix A for testing the results */  
inpspm(fil,&nor,&spm);  
/* test of results;  $y := Ax$ ;  $|y - b| < e$  */  
mltc(nor, spm, xap, xbp, yap, ybp);  
  
freeall(&spm); /* releasing of memory */  
} /* main */
```

3. TESTS

Several tests have been performed to check the execution time, memory consumption (generation of new non-zero elements). The sparse matrices used for testing were of two types: 1. matrices from electrical power system networks (results are in Tab.1), 2. symmetric $n \times n$ positive definite matrices of class $E(n,c)$ [5]. The first ones were symmetric complex or real matrices with the dominant diagonal. The most important feature is that they preserve sparsity during optimally ordered elimination. The number of non-zero elements increase on average approximately 40-60%. The matrices of class $E(n,c)$ have the following form: 1° on the main diagonal - number 4, 2° on two adjacent diagonals and other two, distant from the main diagonal on c units - number -1. These matrices are similar to the matrices obtained from the finite difference method for elliptic partial differential equations. The results obtained for SPM package have been compared with some results presented in [5] for two packages: F01BRE (NAG library) and Y12M (RECKU library). Both these packages are developed for general unsymmetrical matrices with partial pivot selection, but they were tested also for symmetrical matrices of class $E(n,c)$. These packages utilize the adjacent list method for storing sparse matrices and both are written in FORTRAN. The storage

requirements, that is number of new non-zero elements, for the matrices $E(n,44)$ have been shown in Tab.2. Package Y12M is used in iterative mode (IR)¹ to avoid excessive growth of fill-ins.

Tab. 2. Storage requirements for matrices $E(n,44)$

n	n_{tb}	n_{ta}		
		F01BRE	Y12M (IR)	SMP
650	3160	22246	7697	7574
700	3410	24286	8453	8781
750	3660	26932	9174	9688
800	3910	30424	9882	10444
900	4410	37230	12360	12432
1000	4910	45850	14082	13815

n_{tb} , n_{ta} - number of nonzero elements before and after factorization

As far as the fill-ins are concerned the proposed package SPM behaves almost identically as Y12M (IR), but the iterative mode requires to store two matrices in memory and careful choice of the threshold value. Therefore it is better to use the special software for positive definite matrices.

The results of comparison of computing times are of minor importance because the tests have been performed on different computers: mainframe computer UNIVAC 1100/82 (F01BRE, Y12M) and microcomputer IBM PC 386, 16 MHz with 80287-10MHz arithmetic coprocessor (SPM). Nevertheless some of them will be presented to show that a cheap microcomputer can solve relatively large sparse problems and can be competitive to the mainframes. The six systems with the following matrices $E(800,c)$, $c = 4, 44, 84, 124, 164, 204$, have been solved and the sum of six computing times together with the time for the hardest case: $E(800,44)$ is presented below:

	$E(800, c), c=4(40)204$	$E(800,44)$
F01BRE	109.4s	53.7s
Y12M-DS	36.5s	-
Y12M-IR	23.1s	6.9s
SPM	46.5s	14.9s

1) The idea of IR mode is based on the following: small fill-ins (below certain threshold) are not generated, and afterwards the exact solution is obtained in a few iterations. It is necessary to keep in memory both original and factorized matrices.

IMPLEMENTATION EXPERIENCE OF SPARSE MATRIX PACKAGE

It is worth to notice that the code in SPM has not been optimized yet. Besides, change to the faster arithmetic coprocessor can change substantially the above results in favor of microprocessors.

4. CONCLUSIONS

Three versions of the sparse matrix package in three languages: FORTRAN, Pascal and C have been prepared and tested. It has been found that the large sparse problems can be solved quite fast using relatively small computer memory (640 KB) and without application of special expensive hardware equipment and software. The C language may be used as an alternative for FORTRAN in the area of numerical computations. All the versions have used the same data structure for storing the sparse matrices: linked lists. In FORTRAN they have been implemented using the arrays, in Pascal and C - using dynamic memory and pointers. It has been found that the efficiency of applied storage structure depend substantially on the applied programming language. The very flexible method utilizing linked list can be used efficiently in C language. However some modification were necessary to avoid the excessive memory consumption caused by fragmentation. After this modification the C version was found to be the fastest and the least memory consuming. The application of data abstraction and information hiding [14] enabled to prepare the set of easy-to-use procedures. The user does not have to know anything about detailed data and storage structure, about dynamic memory and pointers.

5. REFERENCES

1. Jampala, A.K., Venkata, S.S., *Think Pascal, IEEE Trans. on PWRs vol. PWRs-1, No.1, pp.185-191, Feb. 1986.*
2. Alden T.H., Krishnamurthi, R., *Fortran vs Pascal for Power Engineering Programming under MS-DOS, IEEE Trans. on PWRs, vol. PWRs-1, No.4, Nov. 1986.*
3. Alden T.H., Krishnamurthi, R., *On the Use of Pascal for Power Flow Programming, IEEE Trans. on PWRs, vol. PWRs-3, No.3, Aug. 1988.*
4. *Future Role of High Level Languages in Power System Control Centers, Report, IEEE Trans. on Power Systems, vol.3, No.3, pp.1206-1212, August 1988.*
5. Osterby, O., Zlatev, Z., *Direct methods for sparse matrices, Lecture notes in Computer Science, vol. 157, Springer Verlag, 1983.*
6. Curtis, A.R., Reid J.K., *The solution of large sparse unsymmetric systems of linear equations, J. Inst. Math. Appl., 8, p.344-353, 1971.*

7. Duff, I.S., MA28 - a set of FORTRAN subroutines for sparse unsymmetric linear equations, Englang, Harwell, A.E.R.E, R8730, 1977.
8. Zlatev, Z., Schaumburg, K., Wasniewski, J., Implementation of an iterative refinement option in a code for large and sparse systems, *Computers and Chemistry*, 4, p.87-99, 1980.
9. Zlatev, Z., Schaumburg, K., Wasniewski, J., Y12M - Solution of large and Sparse Systems of Linear Algebraic Equation, *Lecture notes in Computer Science*, vol. 121, Springer Verlag, 1981.
10. Pissanetzky S.: *Sparse Matrix Technology*, Academic Press, 1984.
11. YALE Sparse Matrix Package, 1981.
12. Turbo C. User's Guide. Version 2.0, Borland International, 1988.
13. Schildt, H., C: The Complete Reference. Second Edition, Osborne Mc Graw- Hill, 1990.
14. Kruse, R., *Programming and Data Structures*, Prentice Hall, 1990.
15. Cichy, A., Altun, Z.G., *Data Structures for Sparse Matrices. Implementation Considerations*, *Journal of Faculty of Engineering and Architecture, Çukurova University*. (submitted for publication).

DATA STRUCTURES FOR SPARSE MATRICES: IMPLEMENTATION CONSIDERATIONS

Andrzej CICHY and Ziya Gökalp ALTUN

Çukurova University Department of Electrical and Electronics Engineering, Adana/Türkiye

ABSTRACT : *This paper presents the most frequently used data structures for large sparse matrices. Two areas of application are considered: sparse eigenanalysis and direct solution of linear algebraic equations. Paper describes the storage schemes of presented data structures. For eigenanalysis the power method and simultaneous iterations are described together with relevant storage scheme. Direct solution includes triangular factorization, sparse vector methods, compensation method, factor updating and partial refactorization, together with two basic storage schemes. The concepts of implementations are presented for three most popular programming languages: FORTRAN, Pascal and C.*

SEYREK MATRİS VERİ YAPILARI: KULLANIM ŞARTLARI

ÖZET : *Bu çalışmada büyük seyrek matrisler için sıklıkla kullanılan veri yapıları araştırılmıştır. İki uygulama alanı kabul edilmiştir: Seyrek özanaliz ve doğrusal cebirsel denklemlerin doğrudan çözümü. Çalışmada veri yapılarının depolama şemaları da tanımlanmıştır. Özanaliz için güç ve eşzamanlı tekrarlama metodları ilgili depolama şemasıyla birlikte tanımlanmıştır. Doğrudan çözüm, üçgensel faktörizasyon, seyrek vektör metodları, kompensasyon metodu, faktör değiştirme ve yeniden faktör tayini metodlarını ve iki temel depolama şemasını içermektedir. Kullanım kavramları FORTRAN, Pascal ve C programlama dillerinde sunulmuştur.*

1. INTRODUCTION

Mathematical models of many practical problems in physics, chemistry, and engineering lead frequently to the systems of equations with large and sparse matrices of coefficients. Data structures and storage schemes of sparse matrices depend heavily on the area of application and possible ways of processing. Different storage schemes should be applied when a matrix does not change during processing or when a matrix change its structure, and the number of nonzero elements increases. This papers deals with two important areas of application: the sparse eigenanalysis (power method and its generalization) and the direct solution of linear algebraic equations. The sparse eigenanalysis is far less known than the solution of sparse linear equations but the applied storage methods are very simple and will be described at the beginning.

The paper describes the most frequently used storage schemes of sparse matrices and presents their implementation in three most popular programming languages: FORTRAN, Pascal and C.

The basic purpose of this paper was to present how the application area affects the choice of storage scheme and how storage scheme can be implemented efficiently in different programming languages.

2. POWER METHOD AND SIMULTANEOUS ITERATION IN SPARSE EIGENANALYSIS

The power method [6,7] is one of the simplest methods for computing the eigenvalues and eigenvectors. It is very attractive for the large sparse matrices when some dominant eigenvalues and the corresponding eigenvectors are required. Its algorithm is as follows:

1. Choose any vector \mathbf{u}_0 , so that $\|\mathbf{u}_0\| = 1$. For example it may be the first column of unit matrix \mathbf{I} , i.e. vector \mathbf{e}_1 .
2. Compute the product $\mathbf{A}\mathbf{u}_i$, $i=0, \dots$ and normalize the result, for example $(\mathbf{A}\mathbf{u}_i)/\|\mathbf{A}\mathbf{u}_i\|$. Repeat the same operation until the result converges, say m times.

The obtained eigenvalue is the dominant one.

The simultaneous iteration method [7] is the natural generalization of this idea. Instead of the vector \mathbf{u} , we may use the set of k normalized vectors, arranged as the columns of an $n \times k$ matrix \mathbf{U} , which are simultaneously premultiplied by matrix \mathbf{A} . In both methods the most important and time consuming part of the algorithm is the matrix-vector multiplication, because it is repeated several times during the iteration

process. This step should be programmed very carefully and efficiently even using the assembler language. The vector x and matrix U are stored as the ordinary dense vector and dense matrix. The matrix A is sparse and its structure is constant during the iteration process. Therefore it may be stored using the simplest static storage schemes, for instance as the sequence of triples: a value of element, row number and column number (a_{ij}, i, j) . This sequence does not need to be stored by rows or by columns or ordered in any way.

[a_{11}	0	a_{13}	0
	a_{21}	0	a_{23}	0
	0	0	0	a_{31}
	a_{41}	0	0	0

AV	a_{13}	a_{21}	a_{23}	a_{11}	a_{34}	a_{41}
IR	1	2	2	1	3	4
IC	3	1	3	1	4	1

Fig.1. Representation of a sparse matrix as the collection of triples.

Pre-multiplication $V = AU$ may be performed as k multiplications $v_i = Au_i$, where $i = 1, \dots, k$, and u_i , v_i are the columns of matrices U and V . Pre-multiplication $v = Au$ is equivalent to the following scalar product

$$v_i = A_i \cdot u$$

where A_i is the i -th row of the matrix A and v_i is the i -th component of the vector v .

The relevant fragment of the multiplication algorithm, written in a pseudo-Pascal language, is presented below.

```

{ nt - total number of nonzero elements }   FOR k := 1 TO nt DO BEGIN
      i := IR[k]; j := IC[k]; aij := AV[k];
      v[i] := v[i] + aij*u[j]; { v := Au }
END
    
```

The code has been written in this manner to show the similarity to the scalar product accumulation for the ordinary dense square matrices.

If it is necessary to find a few smallest eigenvalues the simplest choice is to use the inverse iteration method. This method is equivalent to power method with the inverse matrix A^{-1} . In fact we are not performing the explicit multiplication $A^{-1}u$, but we solve the linear algebraic equations with the sparse matrix A and the right hand side vector u .

3. SPARSITY IN LINEAR ALGEBRAIC EQUATIONS

We will discuss algorithms and storage schemes applied during the direct solution x of the system

$$A x = b \quad (1)$$

where A is a nonsingular square ($n \times n$) real sparse matrix, and b is a full or sparse vector. The system with complex matrix may be solved using: 1. direct application of complex arithmetic (it can be efficient only with the special arithmetic units), 2. indirect application of complex arithmetic (performing the necessary calculation "by hand"), 3. transforming a complex matrix into a real one but of the double order.

The solution of Equation (1) can be written as $x = A^{-1}b$, but for the sparse matrices this form is used explicitly only in the case of small dimensions (say $n \cong 100$ or even less, especially for the personal computers). The inverse matrix A^{-1} is a dense matrix even if A is sparse, so all advantages of sparsity are lost. In practice the explicit form of A^{-1} is required very rarely. The matrix A^{-1} can be expressed as the product of the factor matrices. It is possible to preserve sparsity of these factors. Therefore they can be stored in much less space than would be necessary for the inverse matrix A^{-1} . Because of their sparsity the solution time of equation (1) is much shorter than the explicit multiplication $A^{-1}b$.

The most frequently used direct method of solving the equation (1) is the triangular factorization of A . During the Gauss elimination both upper and lower triangular factors U and L can be obtained at no extra computational cost. After factorization the matrix A takes the form of a product of two factor matrices

$$\text{unsymmetrical case: } A = L U \quad (2)$$

$$\text{symmetric case: } A = L L^T = U^T U. \quad (3)$$

or after extracting the diagonal matrix D

$$\text{unsymmetrical case: } A = L D U \quad (4)$$

$$\text{symmetric case: } A = L D L^T = U^T D U, \quad (5)$$

Frequently both factor matrices U and L are stored in the same locations as matrix A . If A is sparse, both factors L and U may retain sparsity, although usually they are less

sparse than A.

Equation (1) can be rewritten as

$$L U x = b \quad (6)$$

and the solution consists of two stages:

forward substitution (FS): solution of $L y = b$ (7)

backward substitution (BS): solution of $U x = y$. (8)

The first equation in FS has the form:

$$L_{11}y_1 = b_1 \quad (9)$$

where $L_{11} \neq 0$ because we have assumed that A is nonsingular. Thus $y_1 = b_1 / L_{11}$. Now we should make the following transformation: subtract the product of the first column of L by the scalar y_1 from the vector b

$$b^{(1)} = b^{(0)} - y_1 L_{.1} \quad (10)$$

We obtain a triangular system of order $n - 1$. Now we can calculate y_2 and applied the same procedure as in (10). Proceeding forward we obtain the complete solution y. The procedure is equivalent to pre-multiplication of b by L^{-1} . If n_L is the number of off-diagonal nonzero elements of L, FS requires n divisions, n_L multiplications and n_L additions.

The last equation in BS has the form:

$$x_n = y_n$$

Successive elements of the solution x_k may be obtained from the following formula using the scalar product of the off-diagonal element of the matrix U row and the solution vector

$$x_k = y_k - \bar{U}_{k.} x = y_k - \sum_{i>k} u_{ki} x_i \quad (11)$$

where $\bar{U}_{k.}$ is the k-th row of the matrix U with zero instead of diagonal element. If n_L is the number of off-diagonal nonzero elements of U, BS requires n_L multiplications and

n_L additions. In the scalar product we are using the nonzero element of k -th row and already computed elements of x ("lower" elements).

If the matrix A is symmetric, then the lower factor $L = U^T$ (see eq.(5)), hence the columns of L used in FS are the rows of U . In BS we use the rows of U directly. If we store the matrix A and its upper factor U by rows, we have very fast access to them. Therefore both steps of solution may be performed very efficiently.

2.1. Sparse vector methods

When the right-hand side vector b is sparse (for example, if we want to calculate a column of inverse matrix), only few columns of factor matrix L may be used in forward substitution, thus changing it to fast forward substitution (FFS) [8]. If it is necessary to compute only few elements of solution, i.e. solution vector is sparse (like calculation of diagonal element of inverse matrix), only few rows of factor matrix U may be used in backward substitution, thus changing it to fast backward substitution (FBS). The application of FFS and FBS allow to obtain the fastest known method of calculating the diagonal of the inverse matrix. One of the basic concepts used in FFS is factorization path, which defines the necessary columns of factor L and U used in FFS and FBS.

2.2. Compensation method

Compensation methods [9] allow for obtaining the modified solution of equation (2) with modified coefficient matrix without this matrix refactorization. Modification of equation (1) may expressed as

$$(Y + \Delta Y)V = \hat{Y} V = I \quad (12)$$

The solution of (12) can be derived after applying algebraic or electrical consideration. Algebraic approach is based on Sherman-Morrison and Woodbury theorem, or Inverse Matrix Modification Lemma [10]. Electrical approach utilizes compensation of network changes by current injection [9].

Any structural symmetric modifications ΔY may be expressed as

$$\Delta Y = C \delta y C^T$$

and modified solution

$$V = V^0 - Y^{-1} C \mu C^T V^0 = V^0 + \Delta V$$

$$\mu = (\delta y^{-1} + z)^{-1}, \quad z = C^T Y^{-1} C$$

where μ is a small matrix. In many cases to calculate the modified solution we must compute only a few (very often one or two) columns of inverse matrix Y^{-1} using fast forward substitution.

2.3. Matrix factor updating and partial refactorization

When only few elements of the coefficient matrix change, the calculated factors can be updated much faster than refactorizing the matrix [11,12]. For a single change in a large symmetric real matrix the factor updating can be 50 or even more times faster. Updating and compensation are complementary to each other. Compensation is used for temporary changes. The factor updating should be used for relatively permanent changes. When the number and types of changes are too extensive for the efficient use of factor updating it is possible to use partial refactorization [13,12]. It is based on observation that for small changes of matrix only insignificant portion of the columns of L or rows of U must be changed. Partial refactorization takes around 25% time of complete refactorization for topologically limited change [13].

3. STORAGE SCHEMES FOR SPARSE MATRICES

3.1. Sparse regular matrices

Any element of two dimensional matrix is described uniquely by three components: value of element, row number, column number. While storing the square or rectangular dense matrices or regular sparse matrices (diagonal, tri-diagonal, triangular) in the regular structure we store only the values of elements, because the relation between their indexes and their physical position in the computer memory can be easily calculated from a simple formula, applied implicitly or explicitly by a user. Any element can be accessed with equal ease by giving two indexes: the row and column index. If the square matrix is stored in two dimensional array the position of element is calculated by the computer. If we store the same matrix in the one dimensional array we have to provide the proper formula. For instance, if we store only the upper triangular part of a matrix in a one-dimensional vector, then the position $k(i,j)$ of the (i,j) -th element, $i \leq j$, in this vector can be obtained from the explicit formula:

$$k(i,j) = (i-1) * (2 * n - i) / 2 + j.$$

3.2. Sparse irregular matrices. General Considerations

A general sparse matrix lacks any regularity. Therefore it cannot be represented in the

computer memory as simple as the dense matrix. We have to store the values of the nonzeros plus indexing information. This additional information constitutes an overhead. It is the price paid for avoiding storing the zero elements. The gain in efficiency must compensate for this overhead.

For storing the large irregular matrices we may use different storage schemes called also the compacting schemes. Frequently, we are taking advantage of the fact that the nonzeros do not need to be accessed in completely random way. For instance the developed algorithms can assume the sequential processing of the individual rows (see equation (10) or (11)) or columns. Therefore the nonzero elements of matrices A , L , U may be stored by rows or by columns. In order to speed up the processing it is necessary to provide the fast access only to the beginning of a particular row or column. The row or column elements may be processed in any order, for instance according to an order of appearance. The certain phases of algorithm require the ordering according to the row or column numbers.

The sparse matrix algorithm must be planned in such a way that only nonzeros are processed and that operations including zero-like addition or multiplication are avoided, not by testing, but by using the knowledge of the nonzeros position. Hence the number of operations performed by the computer is proportional to the number of nonzeros, rather than to the number of elements in the regular matrix of the same size.

During triangular factorization of the sparse matrices the new elements, called fill-in, come into existence. The resulting matrices are less sparse than the original one. The number of fill-ins may be substantially decreased by the optimally ordered factorization.

It was mentioned above that three components are sufficient to define uniquely every nonzero element of a sparse matrix. If an algorithm takes into account the way of sparse matrix processing, it is sufficient to store less information: the address of the beginning of a particular row, and in a particular row - value of this element and column number. Two most frequently used methods are: adjacent (or contiguous) lists method and linked list method. Their representation in different programming languages will be presented below. These methods differ in the way of storing the nonzero elements in a particular row.

3.3. Adjacent list method and its implementation

In row-wise representation the values of nonzero elements are stored by rows together with the corresponding column numbers. The elements in a particular row are adjacent physically to each other, i.e. the successive row elements are stored in the successive memory units. However, the rows may be located separately in memory. An idea of this method is shown in Fig.2. An array FR, called a pointer array, contains

the addresses of the first elements in a given row.

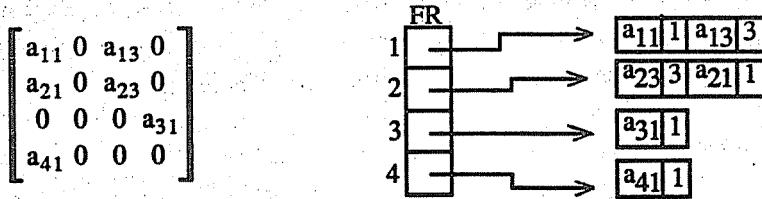


Fig.2. Idea of adjacent list method

There exist two basic approaches to implement the adjacent list method:

1. store the successive rows adjacent to each other,
2. store the successive rows separately.

The first approach can be implemented in almost any high-level language using the array of records or the "parallel" arrays. The "parallel" arrays are used usually to simulate the arrays of records, for instance in FORTRAN. In Pascal and C, where the record structure is available we may use also the parallel arrays because of limits set on the size of allocated memory unit (for instance 64KB for the processors Intel 8088, 8086).

The second approach requires the reservation of dynamic memory units of various length. It may be implemented easily only in C.

Using parallel arrays all nonzero elements are kept in three arrays (n - the number of rows, n_t - the total number of nonzero elements in matrix A):

AV - values of elements (real or complex), $\text{dim} = n_t$,

IC - column indices (integer), $\text{dim} = n_t$,

FR - pointer array, $\text{dim} = n+1$. It contains the addresses of the successive rows of matrix A (that is the i -th row begins at $\text{FR}(i)$ and ends at $\text{FR}(i+1)-1$. The element $\text{FR}(n+1)$ points to the first empty position in the arrays AV and IC).

The array AV constitutes the basic storage, whereas the arrays IC and FR - the overhead storage. The total storage may be easily computed from

$$C_s = (n+1)k_I + n_t (k_I + k_R)$$

where k_I and k_R are the number of memory units used for, respectively, integer and real number. In case of fill-ins the number n_t is not known in advance and should be estimated according to the solved problem.

Fig. 3 shows an example of a 5x5 matrix A , and its representation with the use of the pointer array (rows are ordered according to the increasing column number). We can modify this scheme by excluding the diagonal elements and including them into the new array AD . Thus the access to the diagonal elements will be faster.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & 0 & a_{13} & 0 & a_{15} \\ 0 & a_{22} & 0 & 0 & 0 \\ a_{31} & 0 & a_{33} & 0 & a_{35} \\ 0 & 0 & 0 & a_{44} & 0 \\ a_{51} & 0 & a_{53} & 0 & a_{55} \end{bmatrix}$$

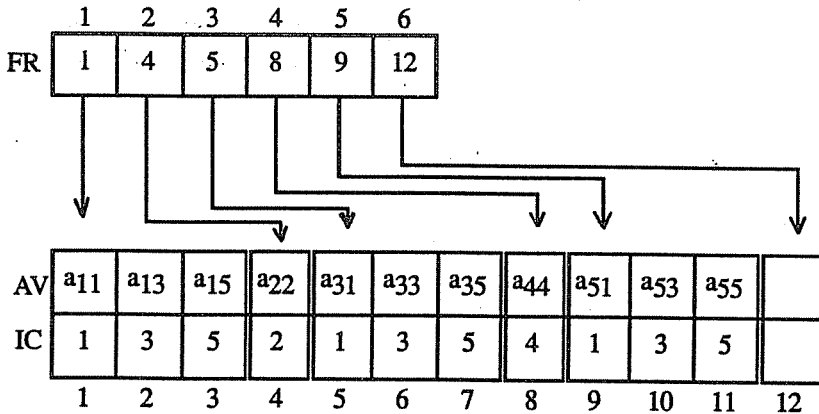


Fig.3. Representation of a sparse matrix using the adjacent method.

The presented fragment of code is prepared for pre-multiplying matrix and vector with the use of "parallel" matrices. The processing of a single nonzero element is identical for the adjacent lists and triples list structures, but the access to the element is different.

```
{ nrow - number of rows }
FOR i := 1 TO nrow DO
  FOR k := FR[i] to FR[i+1]-1 DO BEGIN
```

```

j := IC[k]; aij := AV[k]
v[i] := v[i] + aij*u[j]; { v := Au }
END

```

The adjacent list method is less storage consuming and slightly faster than the triple list method, because the row number is accessed only once for each row. However the triple list scheme can be generated (read from an external storage or calculated) in any order. The adjacent list scheme requires generating the matrix A by rows or requires the knowledge of the number of elements in each row in advance.

The adjacent lists method shown in Fig.3 ensures an easy access to the successive rows of the matrix A or to the factor matrix U. This method gives the large saving of storage and permits to develop very efficient algorithms for addition, multiplication, transposition, permutation of rows and columns. However these operation have to create the new matrices on the input. The modifications of the matrix structure, like including the new elements, eg. fill-ins or deleting the existing is rather troublesome and requires the "shuffling" and "swapping" of many elements. The basic drawback of the method is its inflexibility. This disadvantage is of minor importance if during the processing of a sparse matrix the new elements do not come into existence or the matrix does not change at all.

The adjacent list method is specially well suited for the triangular factorization of symmetric positively definite matrices or symmetric matrices with the dominant diagonal elements. For these matrices the pivot elements are chosen from the diagonal. After optimal ordered symbolic factorization the structure of nonzero elements together with fill-ins is defined. This structure does not change during the numerical factorization. Because of the low computational cost this storage scheme is highly recommended for the numerical factorization and solution (forward and backward substitution). The symbolic factorization can be made in the following way:

- using the linked list method (YALE Sparse Matrix Package [14]),
- the adjacent list method with "shuffling" of elements. [4,5]

Both mentioned and other software packages were developed in FORTRAN. Because of lack of dynamic data structures the adjacent list method requires an extra storage and severe swapping and "shuffling" of elements. The languages with the dynamic memory facility like Pascal and C permit to program efficiently the linked list method.

3.4. Linked list method and its implementation

In order to avoid the inflexibility of adjacent list method, it is possible to utilize the logical adjacency to store the nonzeros of a sparse matrix. It can be done by attaching to every nonzero element a new field containing the address of next, i.e. logically adjacent, nonzero element in a particular row or column. This field is called a pointer field. The row (column) indices may be or may not be stored. Storing the indices results in the larger memory consumption but faster traversing of a row. The solution without storing the indices [2] requires the usage of a sentinel to mark the end of row and define its number. Determination of a column index for a row element requires the traversing till the end of column using the column pointers. This is rather difficult task even if the matrix is very sparse. The linked list methods were used in the sixties and seventies mainly because of problems with the dynamic memory implementation in languages available in that time.

There exist two basic approaches to implement the linked list method:

1. simulation of the dynamic memory in the static arrays,
2. usage of the dynamic memory.

The first approach can be implemented in almost any high-level language using the array of records or the "parallel" arrays. The value of pointer is an index of the array element. The parallel arrays are used instead of the arrays of records, for instance in FORTRAN. In Pascal and C, where the record structure is available the parallel arrays can be used also because of limits for the size of dynamic memory unit. The second approach assumes that every nonzero element is allocated separately and linked together with other elements constituting a successive row (Fig.4). The value of pointer is a physical address. This possibility is available in Pascal and in C.

The most general form of this storage scheme was proposed by Knuth [15]. The application of double pointers allows for the fast access both to the columns and rows of matrix A and comparatively easy access to the successive elements of any row or column. The linked list method, applied for storage of the sparse matrices are mainly modifications of Knuth's storage scheme. These modifications may consist in the following:

- decreasing the number of pointers by storing a matrix by rows, therefore no need for the row numbers,
- storing the diagonal elements in the separate arrays.

Knuth's structure requires 5 units of different size $k_R + 2 \cdot k_I + 2 \cdot k_P$ for each nonzero element, where k_I , k_R , k_P are the number of memory units for an integer, real and pointer variable, respectively. It requires also the storage for two pointer arrays for the

rows and columns beginnings. Because of large overhead storage this scheme is applied very rarely, only if the other storage schemes are not satisfactory enough.

For a symmetric matrix A it is possible to store only its upper triangle and a diagonal before factorization and the factor matrix U after factorization in the same place. Using the static array implementation of linked lists it is necessary to reserve the extra storage for the new nonzero elements (fill-in). In many application the number of fill-ins is hard to predict. In some applications only, the system after the Optimal Ordered Factorization (OOF) retains the sparsity. This happens, for instance in the electrical power networks: the matrix U contains approximately 50% more elements than matrix A (upper triangle).

In two stages of solution: forward (FS) and backward (BS) substitution we should have the fast access to the columns of factor L and to the rows of factor U . An appropriate design of both steps (see eq. (10), (11)) allows in the case of a symmetrical matrix for storing only the factor U and use only the linked lists with a single pointer. When the storage limitations are not so restrictive we can store the whole matrix before factorization and only the factor matrix U after factorization. It decreases the execution time of symbolic factorization. This structure was used in the presented package [16] and is shown in Fig.4.

The nonzero elements are stored in five arrays:

AV - values of elements (real or complex),

IC - corresponding row and column numbers (integers),

NR - address of the next element in a particular row (right) and in a particular column (down),

FR - address of the first elements in a row and column,

AD - values of diagonal elements.

The dimension of arrays AV, IC, NR equals to n_t . The dimension of arrays FR and AD equals to n .

The main advantage of linked list storage scheme is its flexibility in any modification. It is possible to add a new element or delete the existing element without necessity to change the location of the other elements. Because of storing the column index for every row element the pivot selection and arithmetic operation are easier. The memory units released during deleting may be utilize again. The memory consumption is bigger because of pointers. The row traversing using pointers is also slightly more time consuming. However the flexibility of structure more than compensate these drawbacks. Besides in C language it is possible to use the linked list structure for the symbolic factorization and the adjacent list method for the numeric factorization and solution.

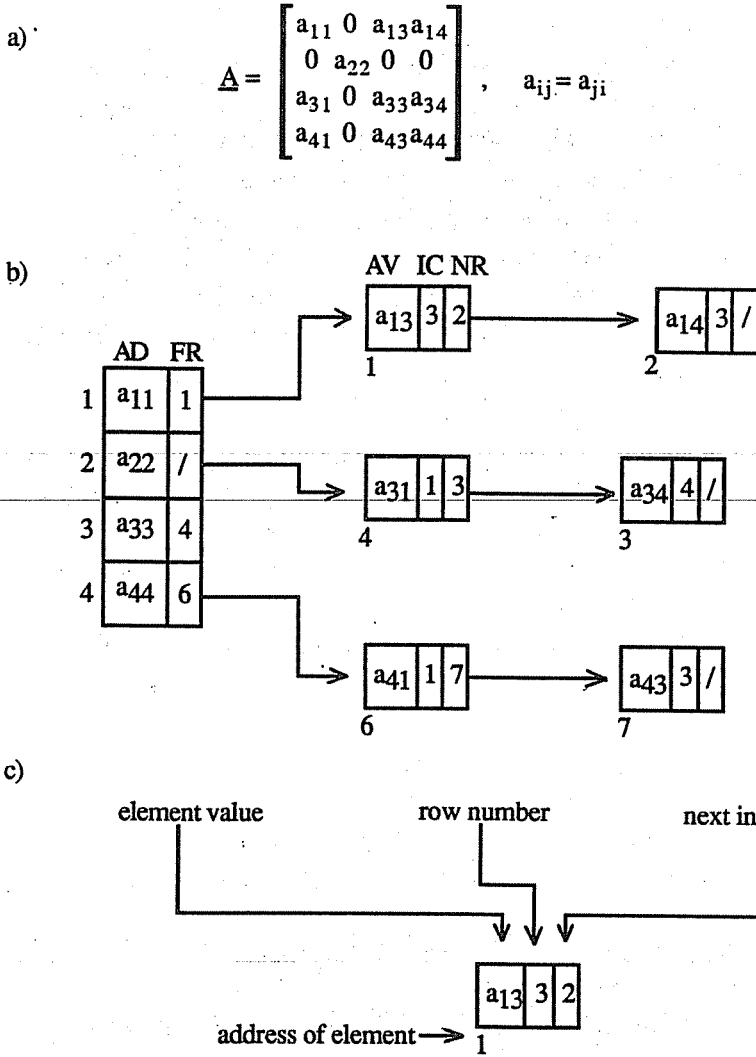


Fig.4. Linked list structure with single pointers
 (a) an example of 4x4 matrix
 (b) graphic representation of a matrix
 (c) structure of a single node of this structure

The linked list storage schemes are specially well suited for storing the matrices with the unknown in advance number of elements. The new nonzero elements (fill-in) may

come into existence during the various stages of the algorithm execution. These events can happen in the following cases:

- triangular factorization of the matrices with the pivot selection outside the diagonal (unsymmetrical matrices in the sparse eigenanalysis - inverse power method, symmetric matrices with the non-dominant diagonal)
- optimal ordered symbolic factorization. For the numerical factorization it can be more efficient to apply the adjacent list storage scheme; however this solution requires more memory or building the structure from the very beginning for obtained ordering scheme,
- factorization of relatively large matrices with relatively small computer memory.

4. CONCLUSIONS

Data structures and storage schemes of sparse matrices depend substantially on the area of application and possible ways of processing. Efficiency of code is influenced by the data types available in a given programming language. The adjacent list method is specially well suited for the triangular factorization of symmetric positively definite matrices or symmetric matrices with the dominant diagonal elements and is highly recommended for the numerical factorization and solution. The linked list storage schemes may be efficiently used for processing the matrices with the unknown in advance number of elements: triangular factorization of unsymmetrical matrices in the sparse eigenanalysis and symmetric matrices with the non-dominant diagonal, optimal ordered symbolic factorization, factorization of relatively large matrices with relatively small computer memory (factorization in situ).

5. REFERENCES

1. Osterby, O., Zlatev, Z., *Direct methods for sparse matrices, Lecture notes in Computer Science, vol. 157, Springer Verlag, 1983.*
2. Curtis, A.R., Reid J.K., *The solution of large sparse unsymmetric systems of linear equations, J. Inst. Math. Appl., 8, p.344-353, 1971.*
3. Duff, I.S., *MA28 - a set of FORTRAN subroutines for sparse unsymmetric linear equations, Englang, Harwell, A.E.R.E, R8730, 1977.*
4. Zlatev, Z., Schaumburg, K., Wasniewski, J., *Implementation of an iterative refinement option in a code for large and sparse systems, Computers and Chemistry, 4, p.87-99, 1980.*
5. Zlatev, Z., Schaumburg, K., Wasniewski, J., *Y12M - Solution of large and Sparse Systems of Linear Algebraic Equation, Lecture notes in Computer Science,*

vol. 121, Springer Verlag, 1981.

6. Jennings A., *Matrix Computation for Engineers and Scientists*, John Wiley & Sons, London, 1977.

7. Pissanetzky S.: *Sparse Matrix Technology*, Academic Press, 1984.

8. Tinney W.F., Brandwajn V., Chan S.M., *Sparse vector methods*, *IEEE Trans. on PAS*, vol.PAS-104, No 2, s.295-301, Feb 1985.

9. Alsac O., Stott B., Tinney W.F., *Sparsity-oriented compensation methods for modified network solutions*, *IEEE Trans. on PAS*, vol.PAS-102, No 5, ss.1050-1060, May 1983.

10. Henderson H.V., Searle S.R., *On deriving the inverse of a sum of matrices*, *SIAM Review*, vol.23, No 1, p.53-60, Jan 1981.

11. Bennett J.M., *Triangular factors of modified matrices*, *Numerische Mathematik* 7, s.217-221, 1965.

12. Chan S.M., Brandwajn V., *Partial refactorization*, *IEEE Trans. on Power Systems*, vol.PWRS-1, No 1, s.193-200, Feb 1986.

13. Stott B., Alsac O., *An overview of sparse matrix techniques for on-line network application*, *Proc. of IFAC Symp. on Power Systems and Power Plant Control*, Beijing, China, s.17-23, Aug 1986.

14. YALE Sparse Matrix Package, 1981.

15. Knuth, D., *The Art of Computer Programming*, vol.I *Fundamental Algorithms*, Addison Wesley, 1964.

16. Cichy, A. et al., *Implementation Experience of Sparse Matrix Package in Different Programming Languages: C, Fortran and Pascal*, *Journal of Faculty of Engineering and Architecture, Çukurova University* (submitted for publication).

KIŞ ŞARTLARINDA MAHAL İÇ SICAKLIĞI DEĞİŞİMİ**R. Tuğrul OĞULATA ve Tuncay YILMAZ***Çukurova Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Adana / Türkiye*

ÖZET : *Isı kayıp hesapları, belirli sabit iç ve dış ortam sıcaklıkları esas alınarak yapılmaktadır. Bu durum, ısı kaynağının gerektiğinden büyük seçilmesine neden olabilmektedir. Bundan dolayı ısı kaynağının uzun süre çalıştırılmasında mahal sıcaklığı, istenen değerlerin üstüne çıkabilmektedir. Bu ise arzu edilen bir durum değildir. Bu nedenle çalışmada, konveksiyonla ısı kaybı ile mahali çevreleyen duvarların, içteki eşyaların ısı kapasiteleri ve değişen dış ortam sıcaklığı dikkate alınarak, iç ortam sıcaklığının değişimi incelenmiştir.*

**THE CHANGE OF INDOOR TEMPERATURE UNDER
WINTER CONDITION**

ABSTRACT : *The heat loss is calculated on the basis of the known constant indoor and outdoor temperature. This condition may result in selection of heat source more than being necessary. For this reason, in the case of using the heat source for a long time, the indoor temperature may rise above the value estimated. But this is not a desirable condition. Therefore, in this investigation, in order to determine the variation of indoor temperature, the heat loss by convection, the heat capacity of materials in the indoor and the variation of outdoor temperature were under consideration.*

1. GİRİŞ

Yapıların arzu edilen konfor sıcaklığına ulaşabilmesi, en önemli konulardan biridir. Özellikle çok sayıda insanın barındığı büyük binalar ile kamu kuruluşları binalarının mesai saatlerinde veya sinema, tiyatro, lokanta ve konferans salonu gibi kısıtlı sürelerde kullanılan yapıların iç ortam sıcaklık değişimi, bu binaların kullanım süreleri içinde önem kazanmaktadır.

Yapılarda iç ortam sıcaklığının değişimi üzerinde pek çok çalışma bulunmaktadır. Ancak çalışmalar genellikle ölçümlere dayanmakta, yapılan teorik çalışmalar ise oldukça karmaşık bir durum arz etmektedir [1,2,3,4,5]. Bu nedenle hesaplamalar çoğunlukla nümerik olarak yapılmaktadır. Bu çalışmada, nümerik hesaplamalar yerine, bir yapının dış duvarlarının kalınlığı çok az veya ısı iletim katsayısı çok büyük (sonsuz) kabul edilerek, kış şartlarında iç ve dış yüzeyleri için yazılan sınır şartlarına göre analitik çözümler elde edilerek, iç sıcaklık değişimlerine etki eden parametrelerin daha iyi araştırılmasına çalışılmıştır.

2. ISI KAYBI İÇİN ENERJİ DENKLEMİ

Güneş ışınımının dikkate alınmadığı kış şartlarında, yapı içerisindeki iç ortam sıcaklığı sadece dış ortam sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. İç ortam sıcaklığının değişimini belirleyebilmek için, dış duvarlardan oluşan ısı kaybı ile bu duvarların ısı depolama kapasitelerinin beraberce dikkate alınması gereklidir. Ayrıca mahal içerisinde istenen iç ortam sıcaklığına ulaşabilmesi için bir ısıtma kaynağının da bulunması gereken durumlarda, mahal içerisindeki eşyaların ve eşya gibi nitelenebilen iç duvarların ısı kapasitelerinin değişimine de ihtiyaç vardır. Bundan dolayı Şekil-1'de gösterilen yapı elemanının iki yüzeyi için, duvarın ısı iletim katsayısı çok büyük (veya kalınlığı çok az) varsayılarak aşağıdaki denklemler çıkarılmıştır:

$$W_d \frac{\delta T_d}{\delta t} = \alpha_i (T_i - T_d) F_d - \alpha_d (T_d - T_a) F_d \quad (1)$$

$y=0$

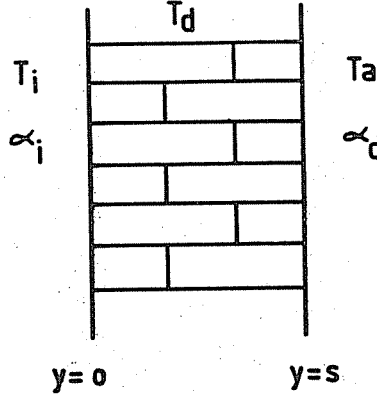
$$W_T \frac{\delta T_i}{\delta t} = Q_{kay} - \alpha_i (T_i - T_d) F_d \quad (2)$$

$y=s$

Bu ifadelerde; W_d

$$W_d = \sum m_d \cdot c_{p,d} \quad (3)$$

KIŞ ŞARTLARINDA MAHAL İÇ SICAKLIĞI DEĞİŞİMİ



Şekil-1. Isı kaybının ele alındığı yapı duvarı.

şeklinde tarif edilen dış duvarın ısı kapasitesi, W_T ise mahal içerisindeki iç duvar ve eşya gibi malzemelerin ısı kapasitesi toplamıdır. Daha açıkça;

$$W_T = \sum m_e \cdot c_{p,e} + \sum m_{id} \cdot c_{p,id} \quad (4)$$

şeklinde. Mahaldeki ısı kaynağı ise, dış ortama olan ısı kaybına eşit kabul edilerek,

$$Q_{kay} = k_{eş} \cdot F_d \cdot \Delta T_{id} \quad (5)$$

şeklinde hesaplanmıştır. Burada ΔT_{id} , iç-dış ortam arasındaki sıcaklık farkı olup,

$$\Delta T_{id} = T_i - T_d \quad (6)$$

şeklinde. $k_{eş}$ ise duvarın toplam ısı transfer katsayısı olup duvar elemanının ısı iletim katsayısı çok büyük (veya kalınlığı çok az) kabul edildiğinden,

$$\frac{1}{k_{eş}} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_d} \quad (7)$$

biçiminde tanımlanmıştır.

Çözümü basitleştirmek ve parametrelerin etkilerini kolay yorumlayabilmek için eş. (1) ve eş. (2)'nin boyutsuz hale getirilmesi daha uygun görülmüştür. Bu amaçla bazı boyutsuz sayılar tarif edilmiştir. ΔT sıcaklık farkı

$$\Delta T = Q_{kay} / \alpha_i \cdot F_d \quad (8)$$

şeklinde tanımlanarak, boyutsuz sıcaklık

$$T^* = \frac{T - T_{ao}}{\Delta T} \quad (9)$$

şekline dönüştürülmüştür. Sırasıyla boyutsuz yüzeysel ısı transfer katsayısı, boyutsuz ısı kapasitesi ve boyutsuz zaman

$$\alpha^* = \frac{\alpha_d}{\alpha_i} \quad (10)$$

$$W^* = \frac{W_T}{W_d} \quad (11)$$

$$t^* = \frac{t \cdot F_d \cdot \alpha_i}{W_d} \quad (12)$$

tarifleriyle eş. (1) ve (2),

$$\frac{\delta T_d^*}{\delta t^*} = T_i^* + \alpha^* \cdot T_a^* - (\alpha^* + 1) \cdot T_d^* \quad (13)$$

$$W^* \frac{\partial T_i^*}{\partial t^*} = 1 - T_i^* + T_d^* \quad (14)$$

şekline getirilmiştir.

Boyutsuz dış ortam sıcaklığı ise, zamana göre

$$T_a = T_{ao} - \Delta T_{ao} \cdot \text{Cos } 2\pi \frac{t}{t_o} \quad (15)$$

şeklinde verilen dış ortam sıcaklığının [6,7],

$$T_a^* = \frac{T_a - T_{ao}}{\Delta T} \quad (16)$$

$$\Delta T_{ao}^* = \frac{\Delta T_{ao}}{\Delta T} \quad (17)$$

$$t_o^* = \frac{t_o \cdot F_d \cdot \alpha_i}{2\pi \cdot W_d} \quad (18)$$

boyutsuz ifadeleriyle,

$$T_a^* = -\Delta T_{ao}^* \cdot \text{Cos } \frac{t^*}{t_o^*} \quad (19)$$

biçimine getirilmiştir.

3. ENERJİ DENKLEMİNİN ÇÖZÜMÜ

Yapı elemanlarının (dış duvarların) bünyesindeki sıcaklık değişimi bilindiği gibi günlük periyotta bir gecikme fazı ile iç-dış ortam sıcaklıklarına bağlı olarak değişmektedir. Dış ortam sıcaklığının gün içerisindeki dağılımının yaklaşık Cosünüs fonksiyonu şeklinde değiştiği bilindiğinden, dış ortamla sürekli teması olan yapı dış duvarlarındaki sıcaklık değişimi de Cosünüs fonksiyonu şeklinde kabul edilebilir. Benzer düşünce iç ortam sıcaklığı için de düşünülecek olursa, bu fonksiyona bağlı olarak boyutsuz sıcaklıklar,

$$T_i^* = A \cdot \cos \frac{t^*}{t_o} + B \cdot \sin \frac{t^*}{t_o} + EI \quad (20)$$

$$T_d^* = C \cdot \cos \frac{t^*}{t_o} + D \cdot \sin \frac{t^*}{t_o} + ED \quad (21)$$

şeklinde tarif edilmişlerdir. Burada A,B,C,D,EI ve ED sabitleri göstermektedir. Eşit.(15), (20) ve (21)'in eşit. (13)'de, eşit. (20) ve (21)'in de eşit. (14)'de yerlerine konulmasıyla,

$$A = \alpha^* \cdot \Delta T_{ao}^* \frac{t_o^*}{f} \left[b - \frac{e}{d} \right] \quad (22)$$

$$B = -\alpha^* \cdot \Delta T_{ao}^* \frac{t_o^*}{f} \quad (23)$$

$$C = -\alpha^* \cdot \Delta T_{ao}^* \frac{t_o^* \cdot e}{f \cdot d} \quad (24)$$

$$D = \alpha^* \cdot \Delta T_{ao}^* \frac{t_o^*}{f} \left[\frac{b \cdot e}{d} - (1+b^2) \right] \quad (25)$$

katsayıları elde edilmiştir. Burada eşitlikleri kısaltmak amacıyla aşağıda tarif edilen a, b, d, e, f sabitleri kullanılmıştır:

$$a = \alpha^* + 1 \quad (26)$$

$$b = W^* / t_o^* \quad (27)$$

$$d = 1 + a \cdot b \cdot t_o^* \quad (28)$$

$$e = [a \cdot (1+b^2) - 1] \cdot t_o^* \quad (29)$$

$$f = 1+b^2 - \frac{b \cdot e}{d} - \frac{e}{d} t_o^* - b \cdot t_o^* - (\alpha^* + 1) \cdot t_o^* \frac{e}{d} \quad (30)$$

Eşit. (20) ve (21) deki EI ve ED sabitleri ise

$$EI = 1 + 1/\alpha^* \quad (31)$$

$$ED = 1/\alpha^* \quad (32)$$

olarak hesaplanmıştır.

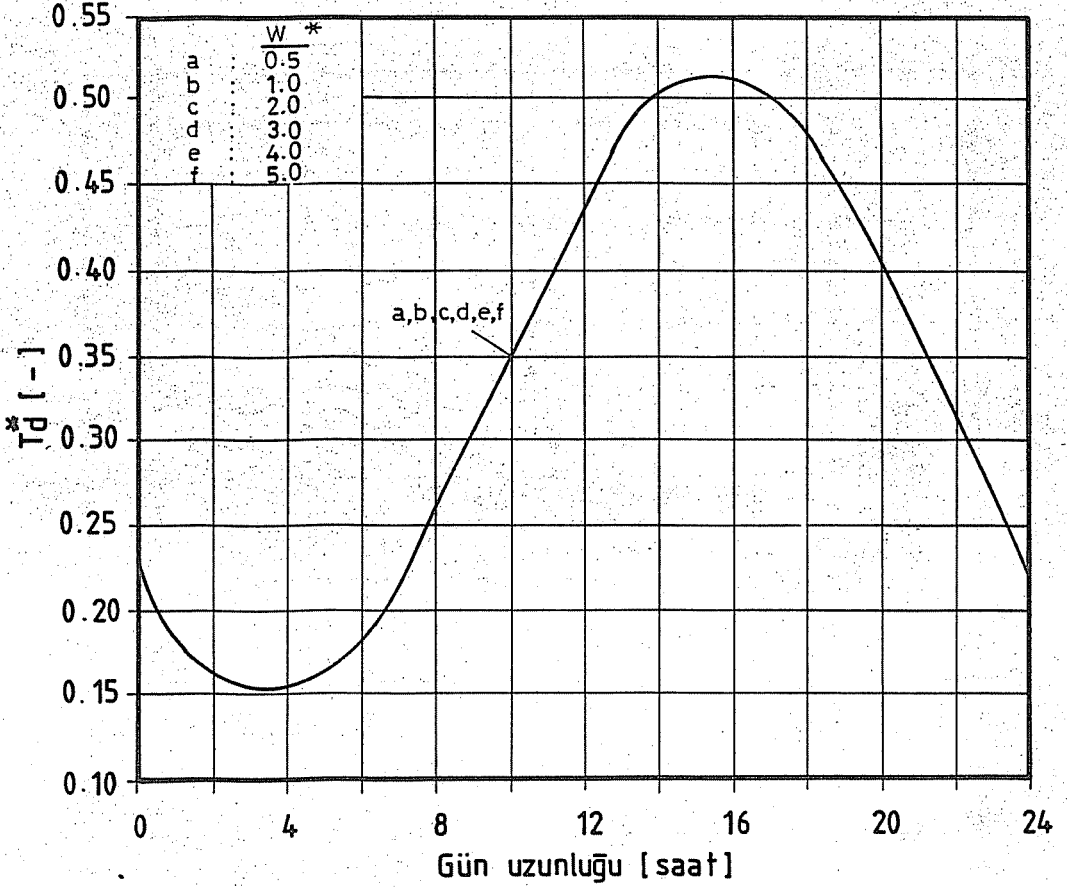
4. ZAMANA BAĞLI BOYUTSUZ SICAKLIK DEĞİŞİMLERİ

Herhangi bir yerde zamana bağlı, yapının dış duvar ve iç ortam sıcaklıklarını, kabul edilen şartlar altında basit ve yaklaşık olarak eşit. (20) ve (21) ile bulmak mümkün olmaktadır.

Şekil-2'de boyutsuz duvar sıcaklığının, Şekil-3'de ise boyutsuz iç ortam sıcaklığının değişik W^* 'larda zamana bağlı olarak değişimleri gösterilmiştir. Hesaplamalar Adana ili için, $\Delta T_{a0}^* = 0,4$ (yöreğe bağlı faktör), $\alpha^* = 3$ (normal α_d ve α_i değerleri gözönüne alınmıştır.) ve $t_o^* = 0,2$ (malzeme faktörü $\rho.s.c$ 'nin etkisi) değerleriyle yapılmıştır.

Şekil-2'de görüldüğü gibi boyutsuz duvar sıcaklığı, W^* 'a bağlı olarak hemen hiç farklılık göstermemektedir. Duvarın ısı iletim katsayısının sonsuz olduğu (veya kalınlığının çok az olduğu) hatırlanacak olursa böyle bir değişimin olması normal karşılanmalıdır. Bundan dolayı duvarın ısı depolamadığı ve duvar sıcaklığının yapı malzemesine bağlı olmadan, olduğu gibi dış ortam sıcaklığından etkilendiği söylenebilir. Nitekim T_d sıcaklığı, dış ortam sıcaklığının minimum olduğu yerde minimum, maksimum olduğu yerde ise maksimum olmaktadır.

Şekil-3'te ise iç ortam sıcaklığı T_i^* 'in W^* ile değişimi zamana bağlı olarak gösterilmektedir. Görüldüğü gibi W^* azaldıkça iç ortamdaki sıcaklık değerleri azaldığı gibi günlük değişim miktarı da (max-min sıcaklık farkı) artmaktadır. W^* 'in azalması dış duvar kütesinin artması olarak değerlendirilirse, duvar kütesinin fazla ısı depolaması yüzünden iç ortam sıcaklığı erken saatlerde az olmaktadır. Fakat dış ortam sıcaklığına bağlı olarak ilerleyen saatlerde depolanmış ısıyı iç ortama vereceği için T_i^* sıcaklığı daha yüksek sıcaklıklara daha erken ulaşmaktadır. Aynı zamanda W^* 'in azalması W_T 'nin azalması olarak düşünülecek olursa, yapı içerisindeki iç duvar ve eşyaların azaldığı anlamı çıkacaktır. Bu durumda bunların ısı depolama değerlerinin dış duvarlardan az oluşu nedeniyle (kütleğe bağlı olarak), sıcaklığın düşmesine ve erken saatlerde minimum olmasına engel olunamayacaktır.



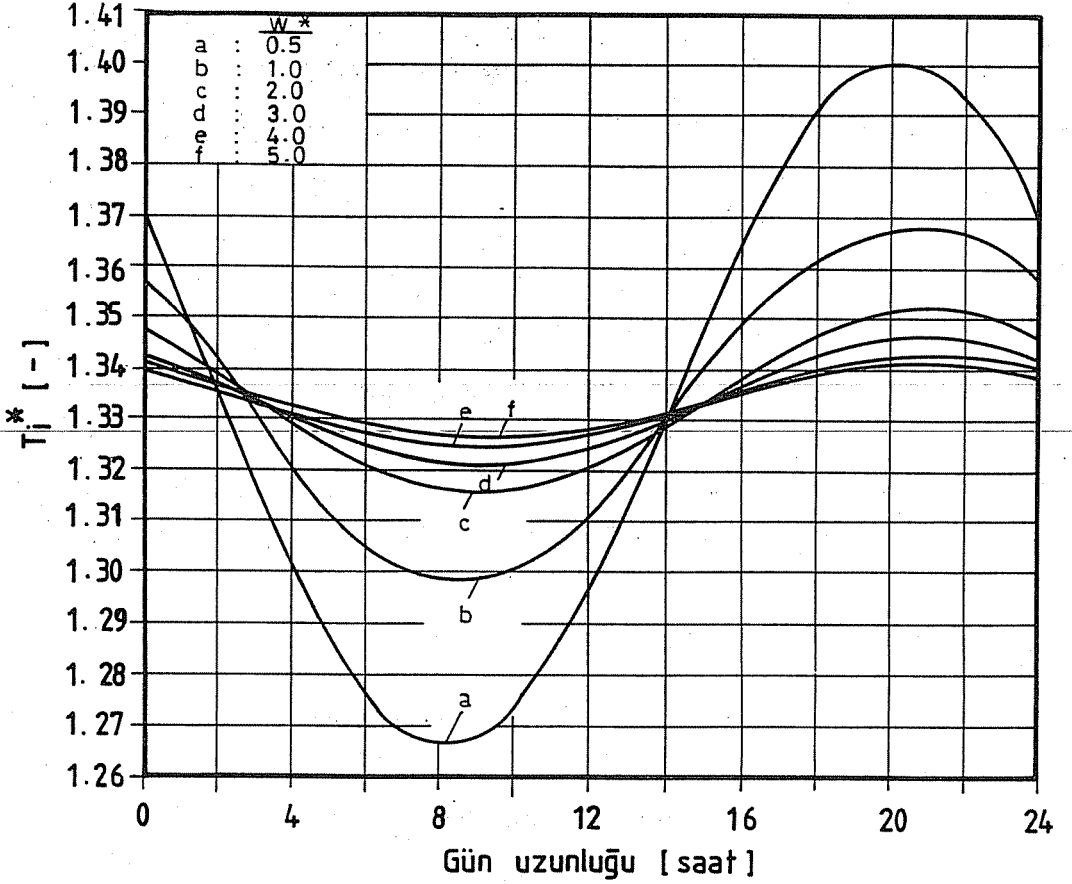
Şekil 2. Boyutsuz duvar sıcaklığının W*'a bağlı olarak gün boyunca değişimi.

5.SONUÇ

İç ortam sıcaklığının karmaşık hesapları yerine bu çalışmada önerilen analitik yöntemle, zamana göre değişim kolaylıkla belirlenebilmektedir. Normal kalınlıktaki duvarlar için de, duvarın ısıl direncinin yarısının α_i 'e yarısının da α_d 'a eşit.(33) ve (34) de gösterildiği gibi eklenmesi suretiyle söz konusu yöntemi kullanmak mümkündür.

$$\alpha_i = \alpha_i + \frac{1}{2} \frac{\lambda}{s} \quad (33)$$

$$\alpha_d = \alpha_d + \frac{1}{2} \frac{\lambda}{s} \quad (34)$$



Şekil 3. Boyutsuz mahal sıcaklığının W^* 'a bağlı olarak gün boyunca değişimi.

Sonuç olarak herhangi bir yapıdaki iç ortam sıcaklığının W^* 'a bağlı olarak değiştiği söylenebilir. W^* değeri arttıkça daha dengeli bir günlük değişim olduğu görülmektedir. Bu nedenle yapıların dış duvarlarının W_d 'si küçük tutulmalı, bunun için de dış yüzeylerin mümkün mertebe az yapılması (veya düşük kütleli) veya kullanılacak malzemenin özgül ısısının en az olanının tercih edilmesinin doğru olacağı görülmektedir. Ayrıca yapı içerisindeki iç duvar veya eşyanın çokluğu da sıcaklık değerinin artmasına ve günlük iç ortam sıcaklık farkının (max-min) azalmasına neden olmaktadır. Bu da konfor şartı açısından arzu edilen bir durumdur.

6. SEMBOL LİSTESİ

T_d	: Dış duvar sıcaklığı [$^{\circ}\text{C}$]
T_i	: İç ortam sıcaklığı [$^{\circ}\text{C}$]
T_a	: Dış ortam sıcaklığı [$^{\circ}\text{C}$]
T_{ao}	: Dış ortam sıcaklığının yıllık ortalaması [$^{\circ}\text{C}$]
ΔT_{ao}	: Günlük dış ortam sıcaklık genliği [$^{\circ}\text{C}$]
ΔT_{id}	: İç-dış ortam sıcaklık farkı [$^{\circ}\text{C}$]
α_i	: İç yüzey ısı transfer katsayısı [$\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$]
α_d	: Dış yüzey ısı transfer katsayısı [$\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$]
$k_{eş}$: Duvarın eşdeğer toplam ısı transfer katsayısı [$\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$]
F_d	: Duvar dış yüzey alanı [m^2]
m_e	: Eşyaların kütlesi [kg]
m_{id}	: İç duvarların kütlesi [kg]
m_d	: Dış duvarların kütlesi [kg]
$c_{p,d}$: Dış duvarların özgül ısısı [kJ/kgK]
$c_{p,e}$: Eşyaların özgül ısısı [kJ/kgK]
$c_{p,id}$: İç duvarların özgül ısısı [kJ/kgK]
W_d	: Dış duvarların ısı kapasitesi [kJ]
W_T	: İç duvar (tavan+döşeme dahil) ve eşya ısı kapasitesi toplamı
Q_{kay}	: Mahaldeki ısı kaynağı [W]
y	: Duvar kalınlığı boyunca aksel yön
s	: Duvar kalınlığı [m]
λ	: Duvarın ısı iletim katsayısı [W/mK]
ρ	: Duvar malzemesinin yığınlığı [kg/m^3]
t_0	: Günlük periyod, 24 saat

7. KAYNAKLAR

1. Threlkeld, J.L., "Thermal Environmental Engineering", Second Edition, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1970.
2. Akbari, H., Samano, D., Mertol, A., Bauman, F., Kammerud, R., "The Effect of Variations in Convection Coefficient on Thermal Energy Storage in Buildings Part II-exterior Massive walls and simulationas", Energy and Buildings, 10, 29-47, 1987.
3. Liu, H.W., Wang, E., "Heat Transfer Analysis a West-Facing Wall", Applied Energy 31, 1-18, 1988.
4. Gruber, P., Toedtli, J., "On the Optimal Thermal Storage Capability of a Homogeneous Wall Under Sinusoidal Excitations", Energy and Buildings, 13,

177-186, 1989.

5. Reddy,M.S., Krishnamoorthy,S., "Heat Flux and Surface Temperature Variations in an Unconditioned Room of Brick Masonry Construction in a Composite Climate", *Energy and Building*, 13, 159-174,1989.

6. Kılıç,A., Öztürk,A., "Güneş Enerjisi", *Kıpaş Dağıtımculuk, İstanbul*, 1983.

7. Bahadori,N.M., Chamberlan,M.J., "A Simplification of Weather Data to Evaluate Daily And Monthly Energy Needs of Residential Buildings", *Solar Energy*, Vol.36, No:6, 499-507, 1986.

HELİSEL YAYLARDA HARMONİK TİTREŞİM**Vebil HAKTANIR ve Erhan KIRAL***Çukurova Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Adana / Türkiye
Çukurova Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana / Türkiye*

ÖZET : *Bu çalışmada, dairesel silindirik yaylarda harmonik zorlanmış titreşim problemi, mod süperpozisyon yöntemi ile incelenmiştir. Bu amaçla, helisel yaylara ait elastik eleman rijitlik matrisi, transfer matrisi yöntemine dayalı olarak hesaplanmaktadır. Eleman rijitlik matrisinin elde edilmesinde ele alınan her eleman için; birinci mertebeye teorinin geçerli olduğu, eksen boyunca kesitin sabit olduğu, malzemenin elastik, homojen ve izotrop olduğu, Hooke kanununun geçerli olduğu kabulleri yapılmakta; aksel ve kayma deformasyonu etkileri ihmal edilmektedir. Toplanmış kütle kabulü ile dönme ataleti terimleri de ihmal edilerek, yaya ait serbest titreşim frekansları elde edilmektedir. Daha sonra bu frekanslar yardımı ile birim harmonik zorlama altında, yayda ele alınan bir noktanın kompleks davranış fonksiyonu hesaplanmaktadır.*

RESPONSE OF HELICOIDAL SPRINGS TO HARMONIC EXCITATION

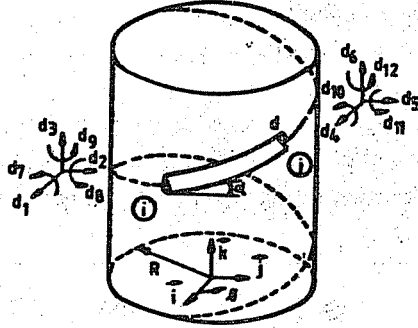
ABSTRACT : *In this study, response of the circular cylindrical springs to harmonic excitation is solved numerically by the mode-superposition method. Stiffness matrix of a helicoidal element is derived based on the transfer matrix method. In the derivation of the element stiffness matrix, it is assumed that displacements and strain are small, rod material is isotropic and linear elastic, and for each element the rod cross-section is uniform. It is also assumed that the effects of extensional and shear deformations are negligible. Frequencies and corresponding modes of free vibration of the helicoidal spring are obtained numerically employing lump mass procedure. Finally, under harmonic excitation, complex frequency response of the helicoidal springs is investigated and numerically results are presented.*

1. GİRİŞ

Helisel yayların serbest titreşimine ait çalışmalar nispeten fazla olduğu halde [1,2,3,4,5,6,7,8,9], zorlanmış titreşimine ait araştırmalar yeterli değildir [8,,10,11,12]. Konunun zorluğu; eleman matrislerinin elde edilmesinden, fazla sayıda bilinmeyenlerin mevcudiyetinden, program hacminin büyük ve işlem sayısının fazla olmasından, çözümün stabilitesinin korunabilmesi ve ayrıca sisteme en uygun çözüm yönteminin seçim güçlüğünden kaynaklanmaktadır [13]. Son zamanlarda, bilgisayar işletim sistemleri ve sayısal çözüm yöntemlerindeki hızlı gelişmeler, bu konudaki araştırmaları arttıracaktır.

2. HELİSEL ELEMAN RİJİTLİK MATRİSİNİN ELDE EDİLMESİ

R yarıçapında silindire, sabit α helis yükselme açısı ile helisel bir şekilde sarılmış bir elemanın uçlarında, öteleme ve dönme türü toplam 12 serbestlik derecesi bulunur (Şekil 1). Böyle bir elemana ait eleman rijitlik matrisi (12x12) mertebesindedir. Literatürde helisel eleman rijitlik matrisleri genellikle, sonlu elemanlar yaklaşımı ile elde edilmektedir [3,14].



$d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6$ -----> Öteleme türü (aktif olan) deplasmanlar
 $d_7, d_8, d_9, d_{10}, d_{11}, d_{12}$ -----> Dönme türü (aktif olmayan) deplasmanlar

Şekil 1: Helisel bir elemanda sistem koordinatlarında serbestlik dereceleri.

Bu çalışmada; eleman rijitlik matrisinin bulunmasında transfer matrisi metodu kullanılmıştır [15]. Bu amaçla kesit kayma ve geometrik merkezlerinin çıkarıldığı; çubuk

malzemesinin izotrop ve lineer elastik olduğu; ele alınan elemanda kesitin sabit olduğu, birinci mertebeli teorisinin geçerli olduğu, kesit asal eksenleri ile eleman koordinatlarının kesit içindeki bileşenlerinin çakıştığı kabullerinin yapıldığı, aksenal ve kayma deformasyon etkilerinin ihmal edildiği eleman transfer matrisinin literatürde mevcut kapalı ifadesinden yararlanılmıştır [16,17]. Bilindiği gibi, transfer matrisi metodu; sistemin yere göre birinci derece 12 adet diferansiyel denklemin kesin çözümünden geliştirilmiş sistematik bir yöntemdir. Eleman rijitlik matrislerinin bu metod yardımı ile, yapılan kabuller dahilinde kesin bir şekilde elde edilmesi mümkün olmaktadır.

3. TOPLANMIŞ KÜTLE HALİNDE SİSTEM SERBEST TİTREŞİM FREKANS VE MODLARININ ELDE EDİLMESİ

Lineer bir sistemin, yere göre ayrıklaştırılmış sönümsüz serbest titreşim denklemleri,

$$[M] \left\{ \begin{matrix} \ddot{D} \\ \ddot{D} \end{matrix} \right\} + [K] \{D\} = \{0\} \quad (1)$$

dir. Burada $[M]$ sistem kütle, $[K]$ sistem rijitlik matrisleri; $\{D\}$, sistem düğüm deplasmanlarının bulunduğu kolon matristir. Sadece aktif deplasman (öteleme türü deplasman) doğrultularında toplanmış kütlelerin titreşime katkısı olacağı (atalet kuvveti doğuracağı) kabulü ile, (1) eşzamanlı denkleminde $[M]$ sistem kütle matrisi tekil olmaktadır. Büyük boyutlu denklemlerin uygun bir şekilde, kendilerine eşdeğer daha küçük boyutlu denklemlere indirgenmesi halinde çözüm, daha az sayıda bilinmeyenle elde edilebilmektedir. Bu çalışmada (1) denklemleri için uygulanan indirgenme işlemi aşağıda özetlenmektedir [18]:

Toplam n adet serbestlik derecesi bulunan bir sistemde; sistem düğümlerindeki m adet aktif deplasmanlar öncelikle kodlanmak üzere (1),

$$\begin{bmatrix} [M1] & [M2] \\ [M3] & [M4] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \left\{ \begin{matrix} \ddot{D}_1 \\ \ddot{D}_2 \end{matrix} \right\} \\ \left\{ \begin{matrix} \ddot{D}_1 \\ \ddot{D}_2 \end{matrix} \right\} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} [K1] & [K2] \\ [K3] & [K4] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \{D1\} \\ \{D2\} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \{0\} \\ \{0\} \end{bmatrix} \quad (2)$$

şeklinde yazılabilir. Burada sadece sistem kütle matrisinin, $(m \times m)$ mertebesindeki $[M1]$ alt matrisinin ana diyagonalı üzerindeki terimleri sıfırdan farklı, diğer alt matrislerin elemanları sıfır olmaktadır.

$$[M2]_{(n-m) \times m} = [M3]_{m \times (n-m)} = [M4]_{(n-m) \times (n-m)} = [0] \quad (3)$$

Sistem kütle matrisinin bu şekli ve sistem rijitlik matrisinin,

$$[K3] = [K2]^T \quad (4)$$

simetri özelliği göz önüne alınarak (2) den,

$$[M1] \left\{ \overset{\circ}{D1} \right\} + [K1] \{D1\} + [K2] \{D2\} = \{0\} \quad (5-a)$$

$$[K3] \{D1\} + [K4] \{D2\} = \{0\} \quad (5-b)$$

yazılır. (5-b) de, aktif olmayan deplasmanları içeren [(n-m)x1] mertebesindeki {D2} vektörü yalnız bırakılırsa,

$$\{D2\} = -[K4]^{-1} [K3] \{D1\} \quad (6)$$

bulunur. Bu matris, (5-a) da yerine konursa,

$$[M1] \left\{ \overset{\circ}{D1} \right\} + ([K1] - [K2] [K4]^{-1} [K3]) \{D1\} = \{0\} \quad (7)$$

şeklinde, aktif olmayan deplasmanların elendiği, sadece aktif deplasmanları içeren indirgenmiş serbest titreşim denklemi elde edilir. (7) denklemi, $[K^*]$ indirgenmiş sistem rijitlik matrisi olmak üzere,

$$[M1] \left\{ \overset{\circ}{D1} \right\} + [K^*] \{D1\} = \{0\} \quad (8)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu denklemde kütle matrisi diyagonal formdadır ve artık determinantı sıfırdan farklıdır. w serbest titreşim frekansı olmak üzere (8) için kabul edilebilecek,

$$\{D1\} = \{a\} \sin(wt) \quad (9)$$

çözümün (8) de yerine konulması ile,

$$([K^*] - w^2 [M1]) \{a\} = \{0\} \quad (10)$$

bulunur. Burada {a}, aktif deplasman doğrultularında kütlelerin ötelenme genlikleridir. İndirgenmiş sistem rijitlik matrisinin simetri özelliği dikkate alındığında (10) denklemi, aktif deplasmanlara ait [M1] kütle matrisinin karekökünün tersi ile soldan çarpılarak,

$$[M1]^{-1/2} [K^*] \{a\} - w^2 [M1]^{-1/2} [M1] \{a\} = \{0\} \quad (11)$$

formunda veya,

$$[M1]^{-1/2} [K^*] [M1]^{-1/2} [M1]^{1/2} \{a\} - w^2 [M1]^{1/2} \{a\} = \{0\} \quad (12)$$

şeklinde yazılabilir. Bu denklem,

$$\{X\} = [M1]^{1/2} \{a\} \quad (13)$$

tarifi ve,

$$[B] = [M1]^{-1/2} [K^*] [M1]^{-1/2} \quad (14)$$

ile,

$$([B] - w^2 [I]) \{X\} = \{0\} \quad (15)$$

haline gelir. Buradan frekans determinanı için,

$$\text{Det} ([B] - w^2 [I]) = \{0\} \quad (16)$$

yazılır. (16) özel özdeğer probleminde [B] matrisi de simetrik olmaktadır. (16) nın çözümünden elde edilen {X} vektörü ve (13) ile,

$$\{a\} = [M1]^{-1/2} \{X\} \quad (17)$$

şeklinde, öteleme doğrultularındaki genlikler elde edilir. Bu çalışmada (16) nın çözümü için, Jacobi sayısal yöntemi kullanılmıştır [19].

w_j , j inci moddaki açılmal frekans, $\{a_j\}$ de bu frekansa karşılık gelen modal vektör olmak üzere, herhangi bir j modu için {10} denklemi

$$([K^*] - w_i^2 [M1]) \{a_i\} = \{0\} \quad (18)$$

şeklinde ifade edilir. Sistemin {a} modal vektörlerini sütun sütun içine alan [A] kare matrisi "modal matris" olarak adlandırılır.

$$[A] = [\{a_1\}, \{a_1\}, \{a_3\}, \dots, \{a_m\}] \quad (19)$$

Birbirinden farklı herhangi bir r ve s modu için (18) den,

$$[K^*] \{a_r\} = w_r^2 [M1] \{a_r\} \quad (20-a)$$

$$[K^*] \{a_s\} = w_s^2 [M1] \{a_s\} \quad (20-b)$$

elde edilir. (20-a) denklemi $\{a_s\}^T$, (20-b) denklemi $\{a_r\}^T$ ile soldan çarpılırsa,

$$\{a_s\}^T [K^*] \{a_r\} = w_r^2 \{a_s\}^T [M1] \{a_r\} \quad (21-a)$$

$$\{a_r\}^T [K^*] \{a_s\} = w_s^2 \{a_s\}^T [M1] \{a_s\} \quad (21-b)$$

bulunur. İndirgenmiş sistem rijitlik ve aktif deplasman kütle matrislerinin,

$$[K^*] = [K^*]^T ; [M1] = [M1]^T \quad (22)$$

simetri özellikleri dikkate alınarak; (21-b) nin her iki tarafında çarpım halinde bulunan terimlerin transpozu alındığında,

$$\{a_s\}^T [K^*] \{a_r\} = w_r^2 \{a_s\}^T [M1] \{a_r\} \quad (23-a)$$

$$\{a_s\}^T [K^*] \{a_r\} = w_s^2 \{a_s\}^T [M1] \{a_r\} \quad (23-b)$$

eşitlikleri elde edilir. Sol tarafları aynı olan bu denklemlerinin farkından,

$$(w_r^2 - w_s^2) \{a_s\}^T [M1] \{a_r\} = 0 \quad (24)$$

ve iki farklı moddaki açılmalık frekansların birbirine eşit olmadığı kabulünden hareketle,

$$\{a_s\}^T [M1] \{a_r\} = 0 \quad (25)$$

bulunur. (25) in (23) de yerine konulması ile,

$$\{a_s\}^T [K^*] \{a_r\} = 0 \quad (26)$$

elde edilir. (25) ve (26) ifadeleri, "modal vektörlerin ortogonalite şartları"dır [18]. Sistemde sönüm var ise, $[C^*]$ indirgenmiş sistem sönüm matrisi olmak üzere modal vektörler,

$$\{a_s\}^T [C^*] \{a_r\} = 0 \quad (27)$$

ortogonalite şartını da sağlamak zorundadır. Visköz sönüm kabulü halinde $[C^*]$, α ve β sönüm katsayıları ile, indirgenmiş sistem kütle ve rijitlik matrisine bağlı olarak,

$$[C^*] = \alpha [M^*] + \beta [K^*] \quad (28)$$

şeklinde tarif edilir [20]. Bu tanımdaki sönüm katsayıları, sistemin yapıldığı malzemenin özelliklerine göre tayin edilmektedir.

4. HARMONİK TİTREŞİMİN MODAL DENKLEMLERİ

Sönümlü titreşim hareketinin diferansiyel denklemi, $\{D\}$ sistem aktif deplasman vektörü olarak gösterilmek üzere,

$$[M^*] \{\ddot{D}\} + [C^*] \dot{D} + [K^*] \{D\} = \{P(t)\} \quad (29)$$

dir. Burada diferansiyel denklemler birbirine bağlıdır. Denklemler

$$\{D(t)\} = [A]\{Y(t)\} = \sum_{r=1}^m \{a_r\} Y_r(t) \quad (30)$$

şeklinde değişken dönüşümü ile birbirinden bağımsız hale getirilebilir [21]. Burada $[A]$ modal matris, $\{Y\}$ her modun genliğini gösteren yeni deplasmanlar vektörüdür. Özetle, bir kütlein D gerçek deplasmanı, her moddaki modal deplasman ile, o moda ait genliğin çarpımları toplamına eşittir. Burada Y_r koordinatlarına, "normal koordinat" adı da verilir.

Sistem koordinatlarından, normal koordinatlara dönüştürülen aktif deplasman vektörünün (30) daki ayrık ifadesinin ve gerekli türevlerinin (29) da yerine konulup denklemin her iki yanının $\{a_r\}^T$ ile çarpılması sonucu,

$$\{a_r\}^T [M^*] \{a_r\} \ddot{Y}_r(t) + \{a_r\}^T [C^*] \{a_r\} \dot{Y}_r(t) + \{a_r\}^T [K^*] \{a_r\} Y_r(t) = \{a_r\}^T \{P(t)\} \quad (31)$$

bulunur. Buradan modal kütle,

$$M_r = \{a_r\}^T [M^*] \{a_r\} \quad (32)$$

modal rijitlik,

$$K_r = \{a_r\}^T [K^*] \{a_r\} = w_r^2 M_r \quad (33)$$

r modu için boyutlu sönüm sabiti,

$$C_r = \{a_r\}^T [C^*] \{a_r\} \quad (34)$$

boyutsuz sönüm oranı,

$$z_r = \frac{C_r}{2M_r w_r} \quad (35)$$

ve,

$$F_r(t) = \{a_r\}^T \{P(t)\} \quad (36)$$

tarifleri ile aşağıdaki ayrıştırılmış hareket denklemi bulunur:

$$M_r \ddot{Y}_r(t) + C_r \dot{Y}_r(t) + K_r Y_r(t) = F_r(t) \quad (37)$$

Bu yöntemle, problemdeki {D} bilinmeyenleri yok edilip, bunlar yerine {Y} bilinmeyenleri yerleştirilerek, birbirinden bağımsız diferansiyel denklemlerin takımları elde edilmektedir. (37) nin diğer bir ifadesi aşağıda verilmiştir:

$$\ddot{Y}_r + 2z_r w_r \dot{Y}_r + w_r^2 Y_r = \frac{F_r(t)}{M_r} \quad (38)$$

Sistem düğümlerine,

$$\{P(t)\} = P_0 \text{Cos}(\Omega t) \quad (39)$$

şeklinde harmonik kuvvetlerin etki etmesi halinde, normal koordinatlarda hareket denklemleri (38) den,

$$F_r(t) = \{a_r\}^T \{P_0\} \quad (40)$$

olmak üzere,

$$\ddot{Y}_r + 2z_r w_r \dot{Y}_r + w_r^2 Y_r = \frac{F_r(t)}{M_r} \text{Cos}(\Omega t) \quad (41)$$

şeklinde ifade edilir. Bu denklemin sağ tarafının Sin(Ωt) ile düzenlenip, (i=√-1) sanal sayısı ile çarpılması sonucu elde edilen denklem ile (41) denklemini taraf tarafa toplandığı, normal koordinatlardaki kompleks hareket denklemleri,

$$\ddot{\bar{Y}}_r + 2z_r w_r \dot{\bar{Y}}_r + w_r^2 \bar{Y}_r = w_r^2 \frac{F_r}{K_r} e^{i\Omega t} \quad (42)$$

elde edilecektir. Burada,

$$\bar{Y}_r = \text{Re } \bar{Y}_r + i \text{Im } \bar{Y}_r \quad (43)$$

tanımı yapılmıştır. (43) kompleks diferansiyel denkleminin çözümü,

$$\bar{Y}_r = \bar{H}_r(\Omega) F_r e^{i\Omega t} \quad (44)$$

şeklinde düşünülebilir (42) de yerine konduğunda,

$$\{\bar{D}(t)\} = \sum_{r=1}^N \left(\frac{\{a_r\} \{a_r\}^T \{P_0\}}{K_r} \right) \left(\frac{1}{(1-b_r^2) - i(2z_r b_r)} \right) e^{i\Omega t} \quad (45)$$

kompleks çözümü bulunur. Burada,

$$b_r = \frac{\Omega}{w_r} \quad (46)$$

tarifi yapılmaktadır. (45) in reel kısmı, fiziksel uzaydaki çözümü vermektedir. Dj

doğrultusunda etkiyen birim zorlamaya karşılık, D_i deplasmanının davranışını belirleyen ve "kompleks frekans davranış fonksiyonu" olarak tanımlanan $H_{ij}(\Omega)$ büyüklüğü (45) ten,

$$\bar{H}_{ij}(\Omega) = \bar{H}_{D_i/P_j}(\Omega) = \sum_{r=1}^N \frac{(a_{ir} a_{jr})}{K_r} \left(\frac{1}{(1-b_r^2) - i(2z_r b_r)} \right) \quad (47)$$

şeklinde ifade edilir. Burada,

$$\bar{H}_{ij}(\Omega) = \text{Re } \bar{H}_{ij}(\Omega) + i \text{Im } \bar{H}_{ij}(\Omega) \quad (48)$$

olup kompleks frekans davranış fonksiyonunun reel kısmı,

$$\text{Re } \bar{H}_{ij} = \sum_{r=1}^N \frac{(a_{ir} a_{jr})}{K_r} \left(\frac{1-b_r^2}{(1-b_r^2)^2 + (2z_r b_r)^2} \right) \quad (49)$$

ve imajiner kısmı,

$$\text{Im } \bar{H}_{ij} = \sum_{r=1}^N \frac{(a_{ir} a_{jr})}{K_r} \left(\frac{-2z_r b_r}{(1-b_r^2)^2 + (2z_r b_r)^2} \right) \quad (50)$$

ile ifade edilmektedir [21]. (49) ve (50), Ω zorlanmış titreşim frekansının bir fonksiyonu olarak çizildiğinde, sistemin titreşim özellikleri hakkında bilgi edinilmektedir.

5. SAYISAL ÖRNEK

Bu örnekte, dairesel kesite sahip ve çelik malzemeden yapılmış ön yüksüz yay, uçlarından ankastre olarak mesnetlenmiştir. Çizelge (1) de, bu çalışmada hazırlanan program ile elde edilen teorik sonuçlar, literatürde mevcut deneysel ve teorik sonuçlar ile birlikte verilmektedir. Çizelgede n aktif sarım sayısını, p malzemenin birim hacminin kütlesini, α helis yükselme açısını, L_0 helisin silindirik eksenine doğrultusundaki yüksekliğini göstermektedir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçların, deneysel sonuçlara yakın olduğu görülmektedir. Bu çalışmada anlatılan yöntemle çözümden, helis eksenine eşit uzunlukta 21 elemana ayrılmış, eleman kütlelerinin eleman ortasında toplandığı kabul edilmiştir. Çizelge (1) de verilen taşıma matrisi yöntemi ile elde edilen literatür sonuçlarında [4,9], eksenel ve kayma deformasyonu etkileri ile, dönme ataleti etkileri dikkate alınmakta, sürekli kütle ile işlem yapılmaktadır. Aradaki fark, eleman dinamik transfer matrisinin elde edilmesindeki hassasiyetten ileri gelmektedir.

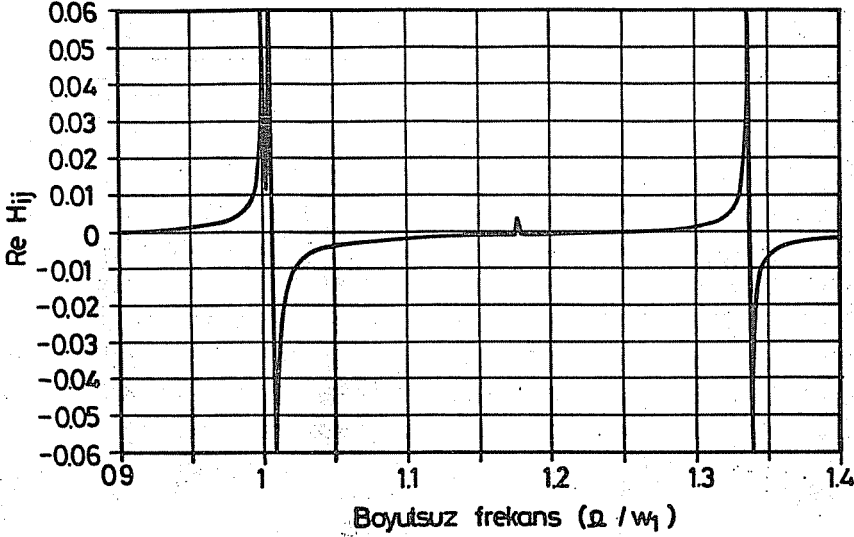
Hazırlanan deney düzeneklerinde, yayların montaj şekilleri ve yaya verilen titreşim

Çizelge 1 : Yay özellikleri ve tabii frekansları.

$\rho=7900 \text{ kg/m}^3$ $E=2.06 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$ $R=5 \text{ mm}$ $n=7.6$ $\nu = 0.3$ $d=1 \text{ mm}$ $d=8.5744^\circ$ $L_0=36 \text{ mm}$ Ankastrre-Ankastrre											
Frekans (Hz)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Deney Sonuçları											
MOTTERS-HEAD,1980	391.	391.	459.	528.	878.	878.	906.	-	1282.	1386.	-
Taşıma Matrisi Metodu											
HAKTANIR ve KIRAL (1990)	393.5	395.9	462.8	525.5	864.0	876.8	914.3	1037.0	1310.5	1363.8	1395.1
PEARSON (1982)	394.9	397.6	456.4	518.3	859.7	874.7	902.2	1023.7	1293.4	1351.9	1387.2
Rijitlik Matrisi Metodu (Helis Eksenli Eleman)											
MOTTERS-HEAD,1980	396.	397.	469.	532.	887.	900.	937.	1067.	1348..	1409.	-
ŞİMDİKİ ÇALIŞMA	394.0	396.6	464.0	526.3	864.6	878.7	915.6	1038.6	1311.2	1363.9	1399.1
Rijitlik Matrisi Metodu (Doğru Eksenli Eleman)											
YALÇIN, 1984 (80 el.)	389.0	392.0	461.0	523.0	856.0	869.0	910.0	1032.0	1305.0	1356.0	-

hareketinin niteliği, yayın sahip olduğu tüm frekansların elde edilebilmesi açısından önemli olmaktadır. Çizelge (1) den görüleceği gibi genellikle, helisel yaylarda bazı frekanslar birbirine oldukça yakındır. Deneylerle, özellikle birbirine çok yakın frekansların elde edilebilmesi her zaman mümkün olmamaktadır.

Serbest titreşim frekansları elde edildikten sonra, aynı yaya bu kere harmonik birim yükleme etki ettirilmiş, harmonik yüklemenin zorlanmış titreşim frekansı belirli aralıklarla artırılarak, seçilen bir doğrultudaki deplasmanın davranışı incelenmiştir. Bu amaçla, birim harmonik kuvvet $\varnothing=7.98 \pi$ de y eksenli doğrultusundaki aktif deplasmana etki ettirilmiş ve yine aynı deplasmanın davranışı incelenmiştir. Sonuçlar Şekil (2) de görülmektedir.



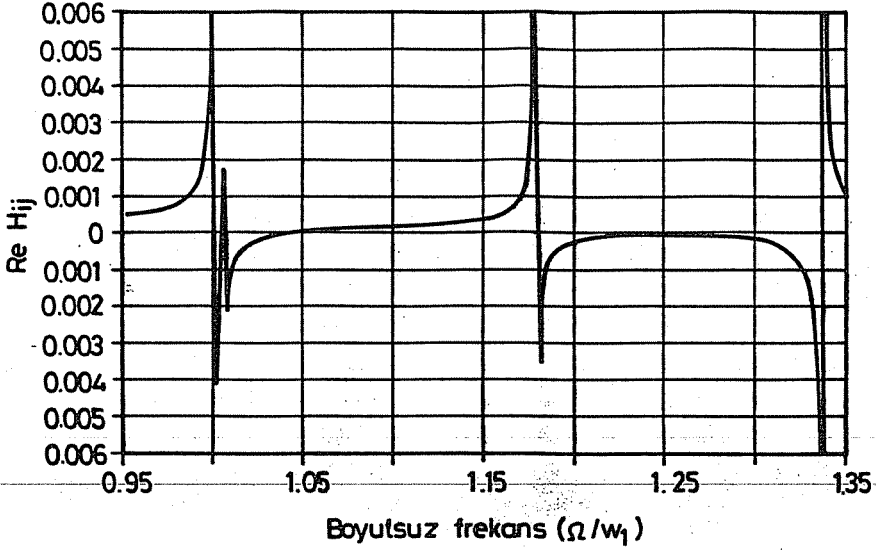
Şekil 2: Harmonik yüklenmiş heliste rezonans frekansları
($i, j \rightarrow \emptyset = 7.98\pi$, y eksenini doğrultusu)

Problemin, bu çalışmada geliştirilen program ile elde edilen ilk 4 serbest titreşim frekansının, temel frekansa oranları aşağıdadır:

Doğal frekanslar	
$w_1 = 393.5$ Hz.....	$w_1/w_1 = 1.$
$w_2 = 395.9$ Hz.....	$w_2/w_1 = 1.006$
$w_3 = 462.8$ Hz.....	$w_3/w_1 = 1.176$
$w_4 = 525.5$ Hz.....	$w_4/w_1 = 1.335$

Şekil (2) de, harmonik yükün zorlanmış titreşim frekansına oranının bazı değerlerinde, kompleks davranış fonksiyonunun sonsuza gittiği görülmektedir. Bu değerler, yayın rezonansa girdiği frekanslara karşılık gelmektedir. Bilindiği gibi, yayın serbest titreşim frekansı ile, zorlanmış titreşim frekansı aynı olduğu zaman rezonans tehlikesi meydana gelmektedir.

Bu kere kuvvet doğrultusu değiştirilmiş ($\emptyset = 7.98\pi$, z eksenini doğrultusu), yine $\emptyset = 7.98\pi$ deki y eksenini doğrultusundaki aktif deplasmanın davranışı incelenmiştir. Bu durumu gösteren grafik Şekil (3) de verilmiştir. Aynı özellikler burada da bulunmaktadır. Bu grafikte Şekil (2) den farklı olarak üçüncü rezonans frekans değeri daha belirgin bir hal almıştır.



Şekil 3: Harmonik yüklenmiş heliste rezonans frekansları
 (i → $\varnothing=7.98\pi$, z eksenine doğrultusu)
 j → $\varnothing=7.98\pi$, y eksenine doğrultusu)

6. SONUÇ

Sisteme ait gerekli sayıda serbest titreşim frekansının, deney ile elde edilebilmesi her zaman mümkün olmamaktadır. Sistem karakter olarak, helisel yaylarda olduğu gibi birbirine çok yakın frekanslara sahip olabilmektedir.

Mod süperpozisyon yöntemi ile, zamanla değişen harmonik yüklemekten farklı dinamik yükler altındaki sistemin davranışının incelenmesinde mümkün olabilmektedir. Bu durumlarda, esas olarak sistemin bütün frekanslarının hassas olarak elde edilmesi zorunludur. Bu çalışmada, ele alınan temel zorlama tipi ilerki çalışmalara bir hazırlık mahiyetindedir. Helisel yay sistemlerinin zorlanmış titreşiminin mod süperpozisyon yöntemi ile incelenebileceği gösterilmiştir.

7. KAYNAKLAR

1. Wittrick, W.H., *On Elastic Wave Propagation in Helical Springs*. *Int. J. Mech. Sci.*, Volume 8, 25-47, 1966.
2. Haines, D.W., *Approximate Theories for Wave Propagation and Vibrations in Elastic Rings and Helical Coils of Small Pitch*. *Int. J. Solids Structures*, Volume 10, 1405-1416, 1974.
3. Mottershead, J.E., *Finite Elements for Dynamical Analysis of Helical Rods*. *Int. J.*

Mech. Sci., Volume 22, 267-283, 1980.

4. Pearson,D., *The Transfer Matrix Method for the Vibration of Compressed Helical Springs. Journal Mechanical Science, Volume 24/4, 163-171, 1982.*

5. Della Pietra,L., Della Valle,S., *On the Dynamic Behavior of Axially Excited Helical Springs. Meccanica, Vol. 17, 31-43, 1982.*

6. Ünlüsoy,Y.S., *Helisel Yayların Dinamik Davranışlarının Modellenmesi. ODTÜ Uygulamalı Araştırmalar Dergisi. Cilt 3/9, 45-57, 1983.*

7. Yalçın,V., *Finite Element Mobility Analysis of Helical Coil Springs. M.S. Thesis. ODTU The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara, 1984.*

8. Pearson,D., Wittrick,W.H., *An Exact Solution for the Vibration of Helical Springs Using a Bernoulli-Euler Model. Int. J. Mech. Sci. Volume 28/2, 83-96, 1986.*

9. Haktanır,V., Kırıl,E., *Silindirik Helisel Yaylarda Yayılı Kütle Halinde Serbest Titreşim Frekanslarının Elde Edilmesi. 4.Ülusal Makina Teorisi Sempozyumu, İstanbul, 469-478, Eylül 1990.*

10. Kırıl,E., Ural,S., *Taşıma Matrisi ve Laplace Dönüşümü Metotları ile Helisel Elastik Çubukların Dinamik Hesabı. İnş. Müh. Odası, Teknik Bülten, Sayı 23/6, 3-18, 1975.*

11. Sinha,S.K., Costello,G.A., *The Numerical solution of the Dynamic Response of Helical Springs. Int. Journal for Numerical Methods in Engineering. Volume 12, 949-961, 1978.*

12. Haktanır,V., *Silindirik Helisel Çubukların Statik, Dinamik ve Burkulma Davranışlarının Taşıma ve Rijitlik Matrisleri Metodu İle İncelenmesi, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Kod No:156, 665 s., 1990.*

13. Narayanan,G.V., Beskos,D.E., *Numerical Operational Methods for Time-Dependent Linear Problems. Int. J. for Numerical Methods in Engineering, Volume 18, 1829-1854, 1982.*

14. Aköz,A.Y., Omurtag,M.H., Doğruoğlu,A.N., *The Mixed Finite Element Formulation for Three Dimensional Bars. Int. J. Solids Structures, Vol.28/2, 225-234, 1991.*

15.Haktanır,V., Kırıl,E., *Helisel Çubukların Statik Davranışının Rijitlik Matrisi Metodu İle İncelenmesi. Ç.Ü. Müh.Mim.Fak. Dergisi, 4/1, 57-71, 1989.*

16. İnan,M., *Elastik Çubukların Genel Teorisi. I.T.Ü. Sayı 642. Berksoy Matbaası, İstanbul, 179 s., 1966.*

17. Cinemre,V., *Başlangıç Değerleri Metodu İle Helisel Çubukların Statik Hesabı.*

Doktora Tezi. I.T.Ü. İnşaat Fakültesi, 59s., 1960.

18. Tezcan,S., *Çubuk Sistemlerinin Elektronik Hesap Makinaları İle Çözümü. Arı Kitapevi, İstanbul, 406 s., 1970.*

19. Bathe,K.J., Wilson,E.L., *Numerical Methods in Finite Element Analysis. Prentice Hall Inc. U.S.A., 528 s., 1976.*

20. Craig,R.R., *Structural Dynamics-An Introduction to Computer Methods, John Wiley & Sons, U.S.A., 1981.*

21. Kiral,E., Mengi,Y., *Titreşim Problemlerinde Kişisel Bilgisayar Kullanımı, II. Ulusal Makina Teorisi Simpozyumu, O.D.T.Ü., Gaziantep, Mühendislik Araştırma Grubu, 220-231, 1986.*

GÜNEŞ ENERJİSİ UYGULAMALARI VE TÜRKİYE'DE KULLANILABİLİRLİĞİ

R. Tuğrul OĞULATA ve Beşir ŞAHİN

Çukurova Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Adana / Türkiye

ÖZET: Güneş enerjisi, diğer ülkelere bağımlı olmayan ve temiz bir enerji kaynağı olarak mümkün olduğu ölçüde yararlanılması gereken bir kaynaktır.

Bu nedenle bu çalışmada, güneş enerjisi uygulamalarına kısaca değinilmiş ve Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli, şimdiki durumu ile yakın gelecekteki hedefleri sunulmuştur.

APPLICATIONS OF SOLAR ENERGY AND ITS UTILIZATION IN TURKEY

ABSTRACT : *The solar energy is a source of energy one should utilize as much as possible since this energy source is not dependable to any other countries.*

For this reason applications of solar energy are reviewed briefly in this work. The current potential of solar energy in Turkey is discussed in connection with the near future targets.

1. GİRİŞ

Dünya ihtiyaçlarının, nüfusa paralel olarak artması, enerjiye olan ihtiyacı artırmaktadır. Buna karşın kullanılan mevcut enerji kaynaklarının sınırlı ve her geçen gün azalıyor olması düşündürücüdür. Bu nedenle insanlığın geleceği ve teknolojinin devamı için eldeki enerji kaynaklarının, yaşam sürelerini uzatmak ve bazı uygulama sahalarında, bir alternatif olarak güneş enerjisinden yararlanmak gerekli olmaktadır. Endüstrileşen, bunun sonucu olarak kirlenen dünyada, temiz ve yenilenebilir böyle bir enerji kaynağının bulunması günümüz dünyası için bir şans sayılmalıdır. Ayrıca, dünya politikalarından etkilenmemesi, yerel uygulamalar için elverişli olması ve ihmal düzeyindeki işletme masrafları ile cazip bir enerji kaynağı olmaya aday görünmektedir.

2. GÜNEŞ ENERJİSİ UYGULAMALARI

2.1. Fotovoltaik Uygulamalar

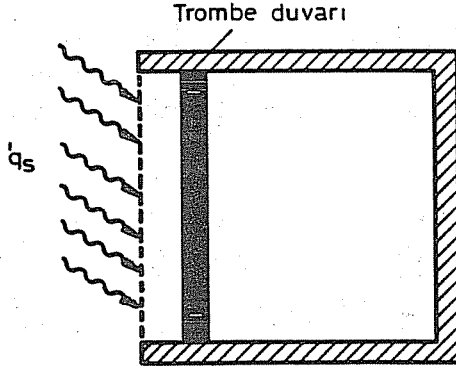
Elektrik üretiminde, güneş ışınımından faydalanılan düzeneklerdir. Güneş pilleri de denilmektedir. Yarı iletken teknolojisi ile çalışmaktadır. Fazla elektron bulunan yarı iletken ile fazla boşluk bulunan yarı iletken yan yana getirilerek aralarında tek bir kristalin meydana gelmesi, dolayısıyla fazla elektronların boşluklara atılması suretiyle doğru akım yaratılır. Bu şekilde elde edilen hücreler birbirlerine seri ve paralel bağlanarak akım şiddeti ve gerilim arzu edildiği gibi artırılır [1,2]. Ancak bu sistemlerin verimleri oldukça düşük olup, %3-%25 arasında değişmektedir. Bugün için düşük verimli ve kuruluş maliyetlerinin yüksek olmalarından ötürü yaygın olarak kullanılmamaktadır. Fakat küçük el aletleri, bahçe sulama pompaları, sokak aydınlatma lambaları, haberleşme cihazları gibi pek çok alanda kullanılmaları mümkündür.

2.2. Isıl Uygulamalar

2.2.1. Pasif Sistemler; Trombe Duvarı

Yapıyı oluşturan çatı, döşeme, duvar, kapı, pencere gibi elemanların toplayıcı veya depolayıcı olarak görev yapmaları pasif sistemler olarak adlandırılır. Özellikle Amerika ve Avrupa'da kış mevsimlerinde yapıların ısıtılması amacıyla üzerinde çok çalışılan bir konudur. Yapılan çalışmalar sonucu bazı tasarımlarda ve bazı bölgelerde, yapının kış ısıtması için gereken ısının tamamına yakının sağlandığı tesbit edilmiştir [3,4,5].

Şekil-1'de böyle bir sistem gösterilmiştir. Trombe Duvarı olarak anılan bu sistemin çalışma prensibi şöyledir [6]. Yapının güneşe bakan cephesi bir cam ile enerji depo etmesi açısından koyu renk kalın bir duvardan müteşekkildir. Isınan duvar, ısısını kendisiyle temas halindeki havaya verir. Isınmadan dolayı yoğunluğu düşerek hafifleyen havanın duvar üst tarafındaki kanallardan mahale geçmesiyle, iç ortam sıcaklığı artar. Üst kanaldan, mahale gelerek ısısını veren hava, trombe duvarının alt kanallarından geçerek tekrar aynı işleme tabi tutulur. Bu suretle ortamın ısıtılma işlemi gerçekleştirilmiş olunur.



Şekil-1. Pasif sistem uygulaması; Trombe duvarı.

2.2.2. Aktif Sistemler

Aktif sistemler oldukça geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. Kullanım alanları genel olarak şu şekilde sıralanabilir:

-Düz toplayıcılarla düşük sıcaklık uygulamalarında (20-100 °C), odaklı toplayıcılarla orta sıcaklık uygulamalarında (100-300 °C) ve güneşi izleyip odaklayarak çalışan heliostat sistemlerle yüksek sıcaklık uygulamalarında (300 °C'nin üstünde)

- Binaların ısıtma ve soğutma işlemlerinde
- Seraların ısıtılmasında
- Saf su elde edilmesinde
- Tuz üretiminde
- Tarım ürünlerinin kurutulmasında
- Yüzme havuzlarının ısıtılmasında

Özellikle düz toplayıcılar, basit ve uzun ömürlü olmaları nedeniyle konutların sıcak su ihtiyaçları için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemlerde güneş ışınımı, seçici yüzeyli düz toplayıcı vasıtasıyla toplanarak, elde edilen ısı toplayıcı içerisindeki bir akışkana (su, hava veya halojenli hidrokarbonlar gibi) transfer edilir. bu suretle sıcaklığı artan akışkan kullanım amacına göre direk veya indirek olarak kullanılır.

3. TÜRKİYE GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ

Türkiye güneş enerjisi açısından Avrupa'nın en avantajlı konumuna sahiptir. 36°-42° Kuzey enlemleri arasında yer alan Türkiye'de, ortalama 2640 h/yıl olan güneşlenme süresi vardır. Bu değer ortalama güneşlenme süresi 1500 h/yıl olan Kuzey Avrupa ülkelerine göre bir hayli yüksektir [7]. Çizelge 1'de Türkiye'de bölgelere göre güneş enerjisi

potansiyeli gösterilmiştir [8].

Bugün Avrupa ülkeleri güneş enerjisinden daha etkin bir şekilde yararlanmak için çalışmalar yapmaktadır. Türkiye'den çok daha az güneş alan İngiltere'de, sanayide güneş enerjisi uygulamaları ile toplam birincil enerji tüketiminin %1'inin karşılanabileceği öngörülmektedir [9].

Çizelge 1. Bölgelere göre güneş enerjisi potansiyeli.

Bölgeler	Yıllık Ortalama Enerji Kcal/m ² /ay	Ortalama Güneşlenme Süresi saat/gün
Güney Doğu Anadolu	1460	8,2
Akdeniz	1433	8,7
Ege	1392	8,2
İç Anadolu	1302	7,5
Doğu Anadolu	1347	6,5
Marmara	1257	6,8
Karadeniz	1123	5,3

Türkiye'de ise durum çok daha farklıdır. Özellikle 1986 yılından beri değerlendirilmeye alınan ve konutlarda yararlanılan güneş enerjisi, 1989 yılına kadar 1000 TEP (Ton Eşdeğer Petrol) değerinden 6000 TEP değerine çıkabilmiştir [8]. Birincil enerji kaynakları içinde değerlendirilen güneş enerjisinin ülkemizin içinde bulunduğu şartlar, kaynağın ekonomisi ve diğer enerji kaynaklarını kullanabilme gibi faktörler dikkate alınarak planlanan, önümüzdeki 20 yılı kapsayan 2010 yılına kadar olan dönemde, diğer kaynaklara göre yerini Çizelge 2'den görmek mümkündür [8].

Yine aynı dönemlerde planlanan güneş enerjisi talebinin sektörel dağılımı Çizelge 3'te gösterilmiştir [10]. Şekil 2'de 10'ar yıllık dönemlerdeki, güneş enerjisi sektörel talebinin değişimi daha belirgin olarak görülmektedir. Fakat Türkiye'nin planlanan dönemdeki güneş enerjisi talebinin yeri sahip olduğu rezervlerinin çok altındadır. Bunu Türkiye'nin Ekim 1989 tarihi itibari ile belirlenmiş olan enerji kaynakları rezerv ve potansiyel değerlerinin kaynak grublarına göre verildiği, Çizelge 4'den görmek mümkündür [10]. Görüldüğü gibi, Türkiye güneş enerjisi kullanımı açısından günümüz enerji kaynakları yanında, bugün ve yakın gelecekte yeterince yararlanamasa da zengin bir rezerve sahiptir.

4. TÜRKİYE'DE YAPILABİLECEK UYGULAMALAR

Türkiye bilindiği gibi, özellikle petrol açısından enerjisi dışa bağımlı olan bir ülkedir. Büyüyen kentlerle birlikte, konutların ısıtılması için harcanan enerji miktarı da gittikçe artmaktadır. Bugün için 1989 yılı sektörel enerji tüketiminde %41 ile en büyük payı konutlar teşkil etmektedir [8]. Bu harcanan enerjinin, büyük kısmını da Türkiye için

GÜNEŞ ENERJİSİ UYGULAMALARI VE TÜRKİYE'DE KULLANILABİLİRLİĞİ

oldukça değerli ve pahalı olan petrol kökenli yakıtlar ile katı yakıtlar teşkil etmektedir. Bu nedenle alternatif bir enerji kaynağı olarak güneş enerjisinden yararlanmak Türk ekonomisine oldukça büyük oranda kazanç getirecektir. Çizelge 1'den görüldüğü gibi özellikle Güney Doğu Anadolu, Akdeniz ve Ege Bölgelerinde güneş enerjisinden yararlanmak pek sorun olmayacaktır. Örneğin, Türkiye şartlarında geliştirilecek güneş evleri suretiyle en azından bu bölgelerde kış ısıtması için harcanan enerjiden büyük kazanç sağlanacaktır. Amerika'da yapılan uygulamalarda, yapılarda %50-%100 arasında güneşle ısıtma gerçekleştirilebilmiştir [10]. Bu küçümsenmeyecek oranda bir enerji tasarrufu demektir.

Çizelge 2. Birincil enerji üretiminin kaynaklara dağılımı [%].

Yıllar	Taş Köm.	Linyit	Petrol	Doğal Gaz	Hidrolik	Güneş	Nükleer
1989	7.1	37.7	10.9	0.6	14.4	0.0	0.0
1990	7.9	38.0	11.6	0.3	13.4	0.0	0.0
1991	8.2	36.7	7.7	1.3	19.9	0.1	0.0
1992	8.2	36.3	6.7	1.2	22.6	0.1	0.0
1993	7.7	37.5	5.7	1.2	23.8	0.1	0.0
1994	7.5	38.7	5.1	0.4	24.3	0.2	0.0
1995	8.0	40.6	4.3	0.5	24.0	0.2	0.0
1996	8.9	38.4	3.7	0.3	26.6	0.2	0.0
1997	9.0	37.0	3.3	1.0	27.9	0.2	0.0
1998	9.6	37.0	2.9	0.9	28.0	0.3	0.0
1999	9.2	37.0	2.6	0.9	28.4	0.3	0.0
2000	8.7	38.7	2.3	0.8	27.2	0.3	0.0
2001	8.4	36.0	2.2	0.8	30.5	0.3	0.0
2002	8.2	36.2	2.1	0.8	30.5	0.4	0.0
2003	8.0	36.4	2.1	0.8	30.0	0.4	0.0
2004	7.8	37.0	2.0	0.7	29.7	0.5	0.0
2005	7.5	36.5	1.9	0.7	30.2	0.5	0.0
2006	7.3	36.6	1.9	0.7	29.8	0.6	0.0
2007	7.1	36.8	1.8	0.7	29.5	0.6	0.0
2008	6.6	34.8	1.7	0.6	28.9	0.7	3.4
2009	6.2	33.9	1.6	0.6	27.2	0.7	6.8
2010	5.7	31.6	1.5	0.5	26.7	0.8	10.6

Diğer bir husus, hernekadar sanayi devleti olma yolunda da olsa, ülkemiz halen büyük bir tarım ülkesi hüviyetini sürdürmektedir. Bugün Türkiye ihracatının 1989 yılı sektörel dağılımına göre, %18,3 'ünü tarım ürünleri oluşturmaktadır [12]. Görüldüğü gibi

ihracatımızın önemli bölümünü oluşturan tarım ürünlerinin, özellikle kurutulmuş meyve ve sebzeleri yaz aylarında hasat edilmekte ve kurutma işlemleri de aynı dönemde yapılmaktadır [13]. Güneşlenmenin bol olduğu dönemde, sözkonusu işlemin yapılabilmesi, sağlık koşullarına uygun olacağı gibi enerjiden de tasarruf sağlayacaktır.

Çizelge 3. Güneş enerjisi talebi (Bin TEP)

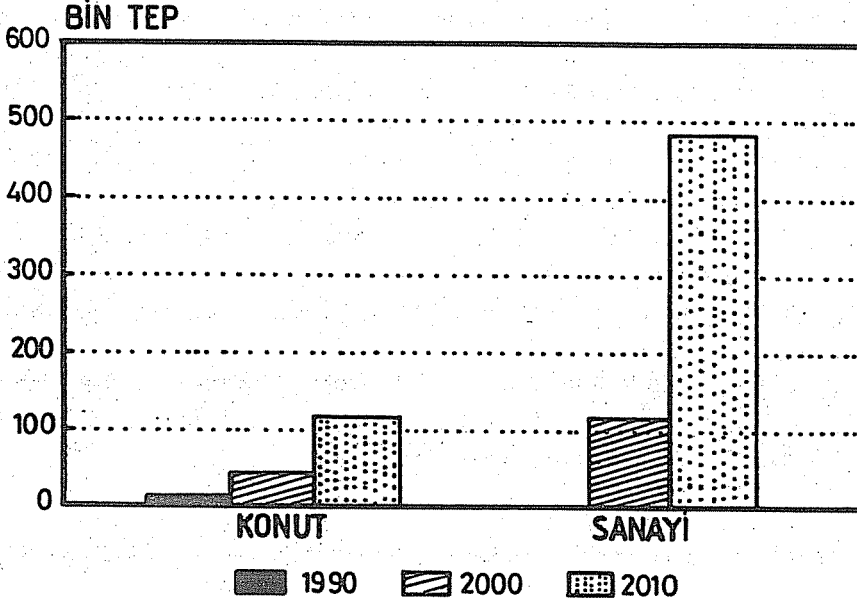
Yıllar	Konut	Sanayi	Toplam
1990	7	2	9
1991	7	16	23
1992	9	21	30
1993	12	29	41
1994	16	39	55
1995	22	51	73
1996	25	60	85
1997	29	71	100
1998	33	83	116
1999	38	98	136
2000	43	116	159
2001	48	134	182
2002	53	154	207
2003	58	179	237
2004	64	207	271
2005	71	238	309
2006	79	274	353
2007	87	316	403
2008	96	365	461
2009	107	419	526
2010	110	483	601

Güneş enerjisinin en yaygın kullanım alanı ise bilindiği gibi sıcak su üretimi amacıyla kullanılan düzlemsel kolektörlerdir. Türkiye'de halen kayıtlı 200 civarında firma güneş kolektörü üretmekte olup, 350.000 m² kolektör tesis kapasitesine ulaşılmıştır [10]. Ancak üretilen bu kolektörlerin belirli bir standartta yapıldığı söylenemez. Bu nedenle üretici firmaların, kullanılacağı yöre şartlarına uygun nitelikte güneş kolektörleri yapmaları sağlanmalıdır. Şekil 3'te kolektör imalat kapasitesinin Türkiye'deki gelişimi gösterilmiştir.

Hernekadar son yıllarda bu alanda büyük bir gelişim görülüyorsa da, Akdeniz Bölgesi

GÜNEŞ ENERJİSİ UYGULAMALARI VE TÜRKİYE'DE KULLANILABİLİRLİĞİ

dışındaki bölgelerin, iklim koşulları da dikkate alınarak değişik güneş kolektörlerinin tasarımı önerilmeli ve kullanımı özendirilmelidir.



Şekil 2. Türkiye güneş enerjisi sektörel talebi.

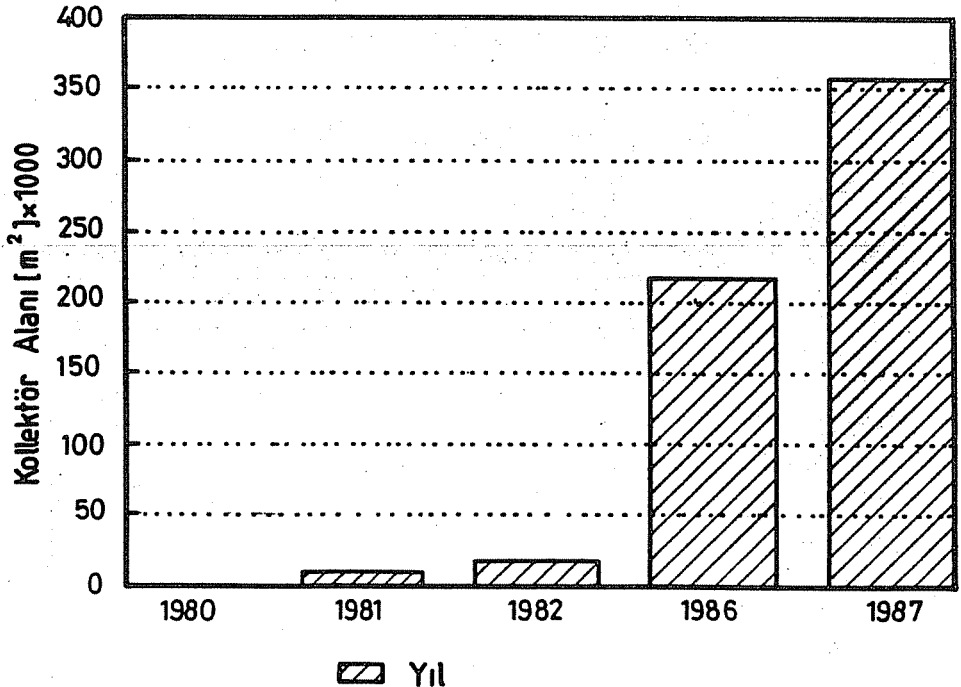
Çizelge 4. Birincil enerji kaynaklarının rezerv ve potansiyel durumu (milyon ton).

Kaynaklar	Görünür	Muhtemel	Mümkün	Toplam
Taşkömürü	162	428	765	1355
Linyit	6947	689	114	7750
Hidrolik (TWh/yıl)	121	-	-	121
Ham Petrol	37	-	-	37
Doğal Gaz (Milyar m ³)	13	-	-	13
Jeotermal (MW/yıl)				
Elektrik	-	-	-	4500
Termal	-	-	-	31100
Güneş (Milyon TEP)				
Elektrik	-	-	-	8,8
Termal	-	-	-	26,3

5. SONUÇ

Türkiye zengin bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Özellikle Güneydoğu Anadolu, Akdeniz, Ege ve İç Anadolu Bölgeleri bu bakımdan oldukça şanslı sayılmaktadır. Öte yandan endüstrinin yaklaşık %40'ı bu bölgelerde bulunmaktadır [13]. Bundan dolayı güneş enerjisi uygulamalarına oldukça uygun olan ve bu bölgelerde yaygın bulunan gıda, tekstil ve kimya endüstrilerindeki ısı uygulamaları için güneş enerjisinden yararlanmak mümkün olabilecektir. Ayrıca konutların, özellikle düşük sıcaklık uygulamaları içerisinde olan sıcak su üretiminden daha etkin faydalanabilmeleri sağlanmalıdır. Bunun için Akdeniz ve Ege Bölgeleri dışındaki bölgelerin, iklimsel şartlarına hitap edebilecek (çift fazlı, indirekt dolaşımli gibi) güneş kolektörlerinin üretiminin ve kullanımının yaygınlaştırılması gereklidir. Yine sözü edilen bölgelerde, farklı araştırma merkezleri tarafından tasarlanan ve denenmiş güneş evlerinin, yöre insanının ihtiyaçlarına cevap verebilecek tarzda düzenlenmesi ve bu suretle sağlanacak enerji tasarrufunun somut olarak gösterilmesi gerekir.

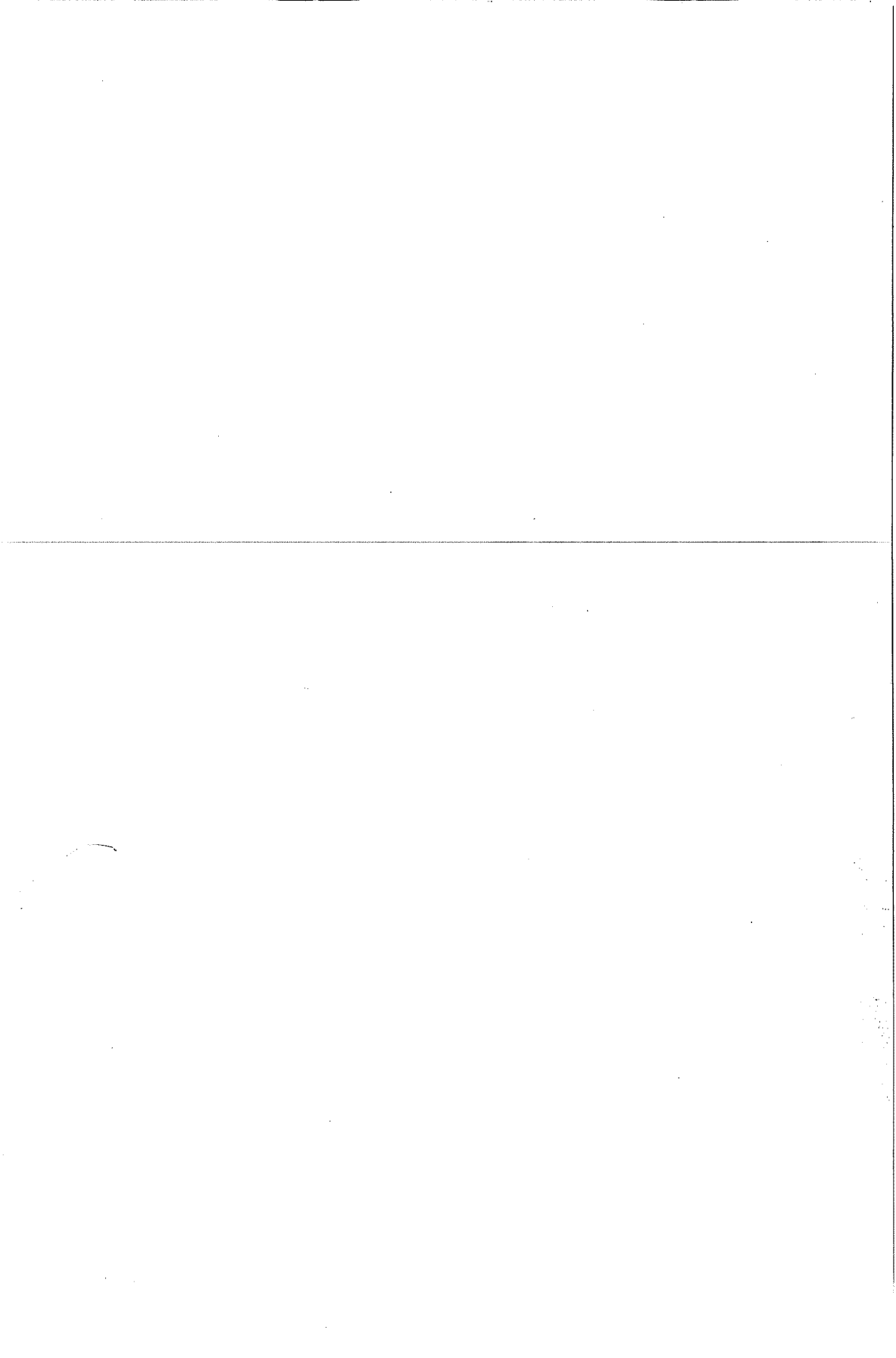
Hernekadar 6. Beş Yıllık Kalkınma Planı'nda güneş enerjisinden daha fazla yararlanılması planlanmışsa da [14], uygulamaya yönelik tedbirlerin alınması, bu enerjiden daha sağlıklı yararlanma açısından faydalı olacaktır.



Şekil 3. Türkiye'de kolektör kapasitesinin yıllık gelişimi.

6. KAYNAKLAR

1. Kılıç,A., Öztürk,A., *Güneş Enerjisi, Kipaş Dağıtımçılık, İstanbul, 1983.*
2. Çolak,M., *Güneş Pilleri ve Uygulamaları, Mühendis ve Makina Dergisi, Cilt 32, Sayı 382, (21-25), 1991.*
3. Taner,K., *Dünyadaki Bazı Güneş Evleri I, Mühendis ve Makina Dergisi, Cilt 30, Sayı 357, (21-26), 1989.*
4. Taner,K., *Dünyadaki Bazı Güneş Evleri II, Mühendis ve Makina Dergisi, Cilt 30, Sayı358, (24-28), 1989.*
5. Deriş,N., *Güneş Evleri, Özyılmaz Matbaası, İstanbul, 1984.*
6. Al-Motawakel,M.K., Norton,B., Probert,S.D., *Solar-Energy Harnessing Performances of Direct-Gain and Non-Vented Trombe Wall Under Yemeni Weather Conditions, Applied Energy, 26, (159-191), 1987.*
7. Arınc,Ü.D., *Güneşli Su Isıtıcılarının Projelendirilmesi, Türkiye 4. Enerji Kongresi, Poster Tebliğler, İzmir, (137-149), 1986.*
8. Altaş,M., Fikret,H., Çelebi,E., *Enerji İstatistikleri, Türkiye 5. Enerji Kongresi, Ankara, 1990.*
9. Arıkoğlu,M., *Güneş Enerjisi İle Proses Isısı Üretimi, Mühendis ve Makina Dergisi, Cilt 29, Sayı 342, (17-23), 1988.*
10. Aybar,N.E., *Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Genel Enerji Planlaması Çalışmalarının İlk Sonuçları, Türkiye 5. Enerji Kongresi, Ankara, 1990.*
11. Göksu,Ç., Yalçınler,U., *Kentlerde Enerji Sorunu, Türkiye 4. Enerji Kongresi, Poster Tebliğleri, İzmir, (287-297), 1986.*
12. *Planlı Dönemde Rakamlarla Türkiye Ekonomisi, TOBB Yayınları, No:Genel 166; Ar-Ge 74, Ankara, 1990.*
13. Elagöz,A., *Türkiye'de Güneş Enerjisinin Enerji Tüketimindeki Yeri ve Yakın Gelecekte Beklenen Gelişmeler, Türkiye 4. Enerji Kongresi, Teknik Oturum Tebliğleri, İzmir (337-345), 1986.*
14. *6. Beş Yıllık Kalkınma Planı 1990-1994, Yayın no: DPT 2174, Başbakanlık Basımevi, Ankara, 1989.*



HİDROLİK YÖN DENETİM VALFLERİNİN DİNAMİK DAVRANIŞI - TEORİK ANALİZ

Erdem KOÇ ve Beşir ŞAHİN

Çukurova Üniversitesi , Tekstil Müh. Bölümü , Adana / Türkiye

Çukurova Üniversitesi , Makina Müh. Bölümü, Adana / Türkiye

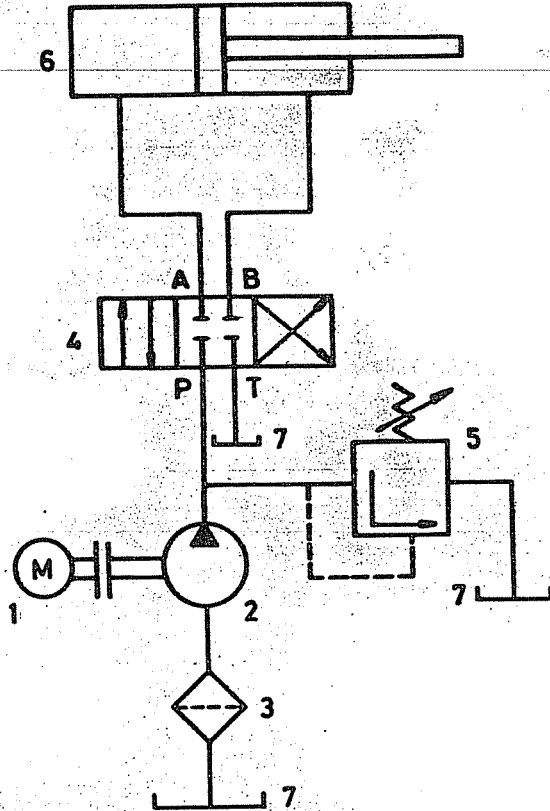
ÖZET : Endüstriyel hidrolik devre elemanlarından olan yön denetim valfleri devreye girme ve fonksiyonları açısından teorik olarak incelenmiştir. 4/3 yön denetim valfinin dinamik modeli teşkil edilip sürekli halde ve ani devreye girme durumlarında valf pistonuna etkiyen kuvvetler analiz edilmiştir. Hareket denklemi bulunarak titreşim durumu irdelenmiştir. Valfin karakteristik büyüklükleri değerlendirilerek performansı araştırılmıştır.

THE DYNAMIC BEHAVIOUR OF DIRECTIONAL CONTROL VALVES - THEORETICAL APPROACH

ABSTRACT: Directional control valves being one of the important elements of industrial fluid power circuits have been examined theoretically from the responding and functioning points of view. Having adopted a dynamic model for a 4/3 directional control valve, forces exposed on the valve piston under steady-state and transient conditions were analysed. By introducing an equation of movement, the vibration conditions have also been examined. The valve performance has been investigated with the evaluation of valve characteristic parameters.

1. GİRİŞ

Hidrostatik tahrikli güç iletim sistemlerinde, sistem enerjisini üreten, bu enerjiyi yönlendirip kontrol eden ve kullanan çeşitli devre elemanları vardır. Bu elemanların bir kısmını kullanan tipik bir devre Şekil-1'de şematik olarak gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi pozitif iletimli pompanın (2) ürettiği basınçlı akışkan yön denetim valfinden (4) geçerek (6) nolu çift etkili silindire ulaşmaktadır. Sistem basıncı basınç emniyet valfi (5) tarafından kontrol edilmektedir. Silindir pistonunun hareket yönü basınçlı akışkanın yönlendirilmesiyle belirlenmektedir.

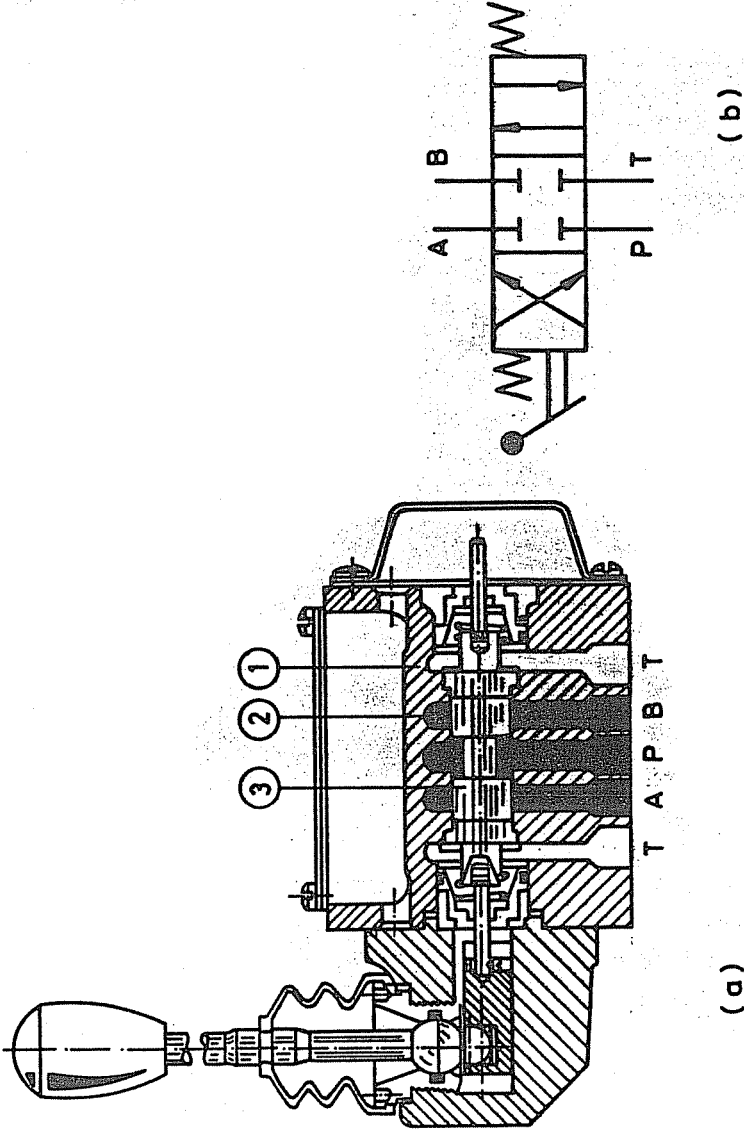


Şekil 1. Basit bir hidrolik devre

Hidrolik yön denetim valfleri, hidrolik devredeki akışkanın akış yönünü, başlama ve duruşunu ayarlayan bir kontrol elemanıdır. Hidrolik silindirlerde doğrusal hareketi kontrol etmek ve ileri-geri hareketi üretmek için kullanılan bu valfler, hidrolik motorlarda da dairesel hareketin kumanda edilmesinde (dönüş yönünü kontrol) kullanılır. Kapalı bir

HİDROLİK YÖN DENETİM VALFLERİNİN DİNAMİK DAVRANIŞI

silindir içindeki piston (tij) pozisyonu ve kanal sayısına göre tanımı yapılan yön kontrol valflerinden en çok sürgülü tip 4 yollu-3 konumlu olanlar kullanılmaktadır [1,2,3,4]. Bu valfler sembolik olarak 4/3 valfi şeklinde gösterilmektedir.



Şekil 2. Mekanik kumandalı yön kontrol valfi

- a) Valf kesiti
- b) Şematik gösterim

Şekil-2a'da tipik bir 4/3 yön kontrol valfi gösterilmiştir. Bu tür valflerin gövdesi (1) genellikle dökümden yapılmış olup içerisi boydan boya silindirik olarak delinmiştir. Silindirik delik üzerine ayrıca çevresel yarıklar (2) açılmıştır. Silindir içerisine aynı çapta ve üzerinde radyal yarıklar olan bir piston (tij) (3) yerleştirilmiştir. Pistonun aksel olarak uygun pozisyonu almasıyla silindir içerisindeki çevresel yarıklı odalar birbiriyle ya birleşmekte ya da ayrılmaktadır. Çevresel yarıklar arasındaki sızdırmazlık piston ve silindir arasındaki dar toleransla sağlanmaktadır. Şekildeki valfte piston, mekanik uyarılı ve yayla geri tepmeli tiptir [4].

Üç konumlu valflerde 1. ve 2. konumlar çalışma konumlarıdır. Merkez konum ise (0) ile gösterilir ve bu nötr konumda, silindirde hareket oluşması merkez konumun tasarımına bağlıdır. Dört yollu valfler için tasarlanmış çeşitli orta konumlar vardır. En çok kullanılan orta konumlar; H merkez tipi, açık merkez tipi, yüzer ve diğer orta konumlardır [5]. Şekil-2b'de standart sembollerle gösterilmiş olan yön denetim valfi kapalı merkezli bir valftir. Valf pistonu orta pozisyonda iken tüm kapılar kapalıdır. Bu tipte, bir hareket elemanı herhangi bir konumda tutulabildiği gibi sistemdeki diğer elemanların da birbirinden bağımsız olarak aynı güç kaynağından yararlanarak çalışması sağlanır. Orta konumda pompanın bastığı yağ yön valfinden depoya gönderilmez. Açık merkezli orta konumlu valfte silindir hatları (A,B) kapalı ve pompa depoya (P-T) bağlıdır. Bu valflerde, valf merkezi konumda iken pompa doğrudan depoya bağlandığından, sistem basıncı minimum değerdedir. Kapalı merkezli valflerin çalıştırılması esnasında hatlar ani açılıp kapandığından sistemde basınç şokları meydana gelirken, açık merkezli valfler daha yumuşak bir çalışma özelliği gösterirler.

Bu çalışmada, kısaca çalışma prensibi özetlenen yön kontrol valfinin değişik çalışma şartlarında davranışı teorik olarak analiz edilmiştir. Valf pistonuna değişik zamanlarda (valf kanallarının açılma durumlarında) etkiyen kuvvetler debi karakteristiği de dikkate alınarak belirlenmiştir. Valf pistonunun titreşim karakteristiği irdelenip sönümlü ve sönümsüz titreşim şartları incelenmiştir.

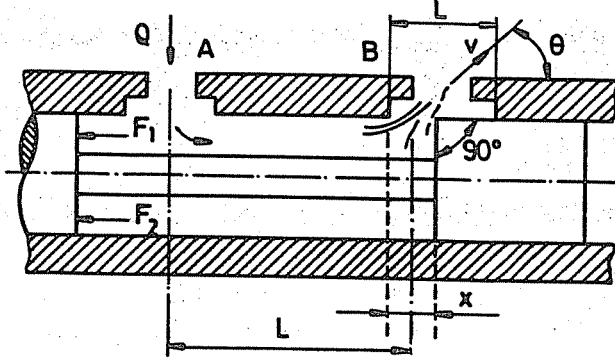
2. VALF DAVRANIŞININ TEORİK ANALİZİ

4/3 valfinin genel davranışını analiz edebilmek için öncelikle basit 2 yollu akış denetim valfi dikkate alınmıştır. Şekil-3'de gösterilen sistemde, piston üzerine gelen akışkan yükünün (kuvvetin) belli bir değere ulaşmasıyla piston harekete geçmekte ve açılan kanaldan akışkan sevk edilmektedir. Analizi basitleştirmek için önce sürekli durum değerlendirilmiş sonra da geçiş reaksiyon kuvvetleri dikkate alınmıştır.

2.1. Sürekli Reaksiyon Kuvveti

Şekil-3'deki sistemde öncelikle akışın daimi olduğu kabul edilmiştir. Akışkanın valfe giriş ve çıkışında, pistonun konumuna göre etkiyen kuvvetlerde değişim meydana gelmektedir. Giriş kanalının çıkış kanalından büyük olması nedeni ile akışkanın giriş

HİDROLİK YÖN DENETİM VALFLERİNİN DİNAMİK DAVRANIŞI



Şekil 3. 2 yollu yön denetim valfi

hızı ihmal edilmektedir. İki boyutlu kabul edilen akışın yönü sağa doğru pozitif alınmaktadır.

Bu kabuller dikkate alınarak valf haznesindeki yağın momentum değişimi [7]

$$\frac{d(mV)}{dt} = V \frac{dm}{dt} = \rho V Q \quad (1)$$

şeklinde yazılabilir. Bu değişimin piston eksenindeki bileşeni (pistona etkileyen kuvvet)

$$F_1 = - \rho Q V \cos \theta \quad (2)$$

olarak bulunur. Sabit ΔP basınç farkında birim valf kanal açıklığı x için valfin akışkan geçiş alanının a_0 olması halinde (2) eşitliği

$$F_1 = - A_1 x \quad (3)$$

şeklinde yazılabilir. Burada kuvvet değişkeni A_1

$$A_1 = 2 C_d^2 a_0 / L' \Delta P \cos \theta \quad (4)$$

olarak tarif edilmektedir. C_d basit bir orifis olarak kabul edilmiş olan akış kanalında debi çıkış katsayısıdır. (2) den 3'e geçişte orifis kesitindeki akışkan debisi

$$Q = C_d a_0 \left(\frac{2 \Delta P}{\rho} \right)^{1/2} \quad (5)$$

şeklinde değerlendirilmiştir. (3) eşitliğindeki (-) işareti akış yönüne ters istikamette etkileyen kuvveti göstermek amacıyla konmuştur. Şekil 3'de bu kuvvet gösterilmiştir.

2.2. Geçiş Reaksiyon Kuvveti

Valf pistonunun aniden açık pozisyona geçmesi halinde akışkanın hazne içinde ivmelendiği ve ek reaksiyon kuvvetlerini ortaya çıktığı görülür. Akışkan ivmelenmesinden dolayı bu reaksiyon kuvveti [7],

$$F_2 = -\rho a_o L \left(\frac{dV}{dt} \right) \quad (6)$$

şeklinde tarif edilebilir. Valf odasının kesit alanı a_o ise, debi $Q=V a_o$ ve debideki değişim

$$\frac{dQ}{dt} = a_o \frac{dV}{dt} \quad (7)$$

şeklinde değerlendirilerek (6) ve (7) eşitliklerinden

$$F_2 = -A_2 \frac{dx}{dt} \quad (8)$$

elde edilir. Burada basınç farkı ΔP 'nin sabit olması halinde kuvvet değişkeni A_2 ,

$$A_2 = C_d a_o L / L' (2 \rho \Delta P)^{1/2} \quad (9)$$

şeklinde tarif edilmiştir.

Analizi biraz daha genişletmek amacıyla, viskoz sönümleme ve yay kuvveti de değerlendirilerek akışkan kütlesi m olmak üzere pistonun hareket denklemi

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + k x = F_1 + F_2 \quad (10)$$

veya

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + (c + A_2) \frac{dx}{dt} + (k + A_1) x = 0 \quad (11)$$

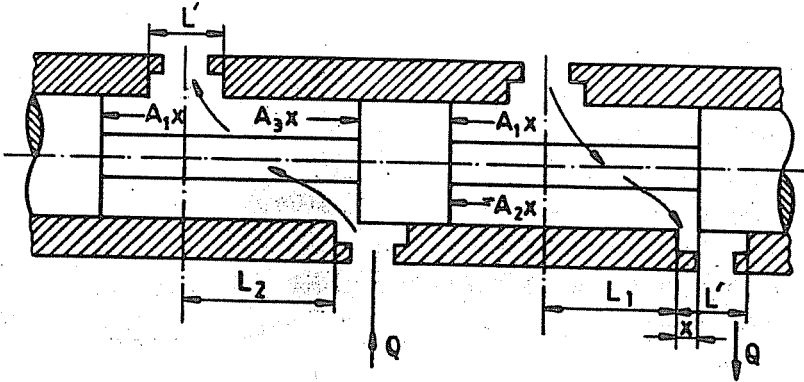
şeklinde elde edilmiştir. Burada c viskoz sönümleme katsayısı ve $c V$ viskoz sönümleme kuvveti olarak tarif edilmiştir.

İki yollu valften 4 yollu valfe geçilmek istenirse Şekil-4'deki model esas alınmalıdır. Burada valfe ek olarak bir kontrol bölümü ve valf haznesi değerlendirilmiştir. Akış miktarı ve hız parametreleri bu ikinci odada L_1 'in pozitif değeri için negatiftir. Başka bir ifadeyle L_2 negatif olurken L_1 pozitif olmaktadır, valf pistonuna etkiyen toplam F_1 ve F_2 kuvvetleri;

$$F_1 = -2 A_1 x \quad (12)$$

ve

$$F_2 = (-A_2 + A_3) \frac{dx}{dt} \quad (13)$$



Şekil 4. 4/3 yön denetim valfi

şeklinde yazılır. Burada kuvvet parametreleri

$$A_2 = C_d a_o L_1 / L' (2 \rho \Delta P)^{1/2} \quad (14)$$

ve

$$A_3 = C_d a_o L_2 / L' (2 \rho \Delta P)^{1/2} \quad (15)$$

olarak kullanılmıştır. Bu büyüklükleri kullanarak (11) eşitliği yeniden düzenlenirse

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + (c + A_2 - A_3) \frac{dx}{dt} + (k + 2A_1)x = 0 \quad (16)$$

elde edilir. Bu eşitlikten valf pistonunun sönümsüz tabii frekansı

$$\omega_n = \left(\frac{k + 2A_1}{m} \right) \quad (17)$$

ve sönümleme oranı

$$2\xi\omega_n = \frac{c + A_2 - A_3}{m} \quad (18)$$

eşitliğinden

$$\xi = \frac{c + A_2 - A_3}{2 [m (k + 2A_1)]^{1/2}} \quad (19)$$

bulunur [6,7]. Sönümlü hal için tabii frekans, titreşim teorisinden

$$\omega_d = \omega_n \left(1 - \xi^2\right)^{1/2} \quad (20)$$

şeklinde yazılabilir. Sönümlenme oranı analiz edilirse

$$0 < (c + A_2 - A_3) < 1$$

şartı sağlanırsa valf pistonu titreşim yapıp sonunda sönümlenecektir. Eğer $c + A_2 - A_3 < 0$ ise valf sürekli dalgalı çalışarak negatif sönümlenmeye sahip olacaktır.

$$A_3 > A_2 + c$$

veya

$$L_2 > L_1 + c \cdot L' / [C_d a_0 (2 \rho \Delta P)^{1/2}] \quad (21)$$

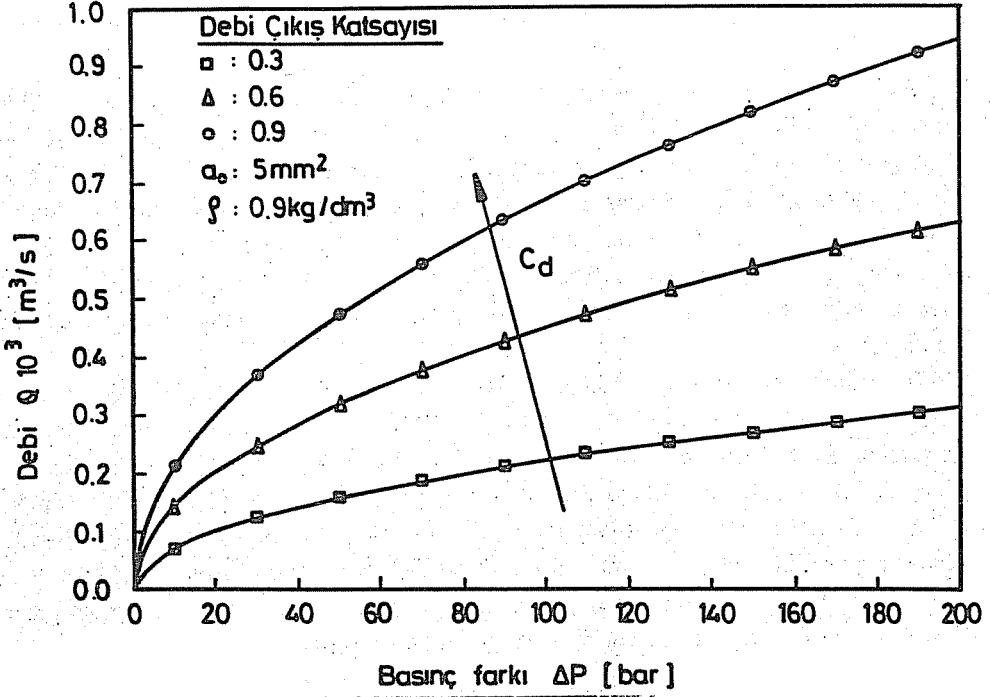
şartı sağlanırsa valf pistonu sürekli osilasyon yapacaktır. Bunun için c viskoz sönümlenme katsayısı ile L_1 ve L_2 boyları çok önemli parametrelerdir. Valf pistonunun sürekli titreşim yapması hiçbir zaman arzu edilmez.

3. TEORİK NETİCELER VE İRDELEME

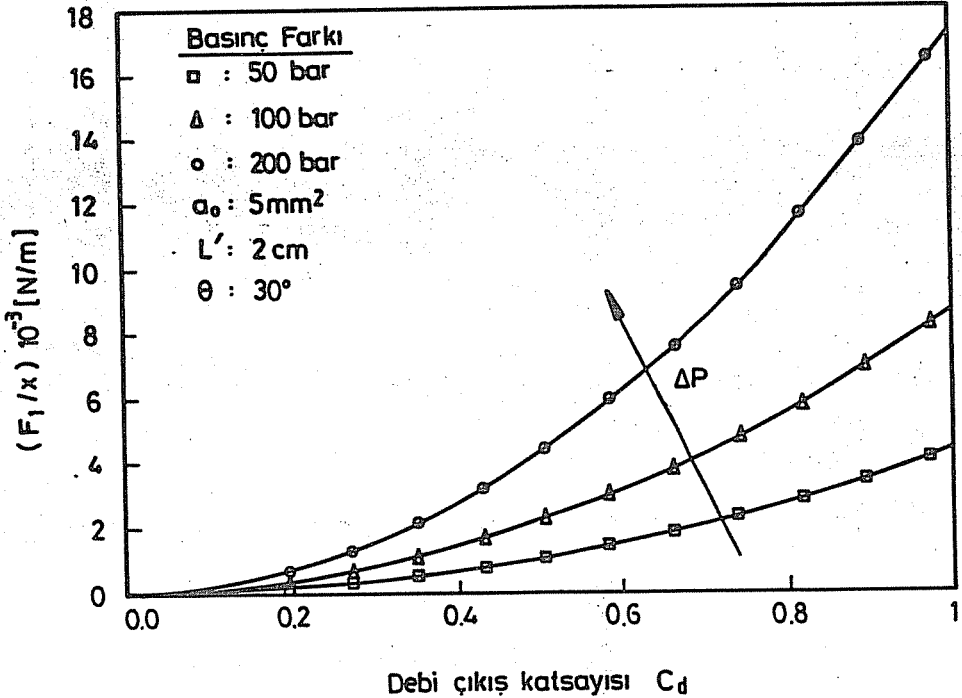
Yukarıda kısaca özetlenen teorik yaklaşım esas olmak üzere iki yollu ve dört yollu yön denetim valflerinin kuvvet analizleri yapılmıştır. Bu kuvvetlerin etkisinde valf pistonunun denge hali ve titreşim durumları incelenmiştir. Değişik çalışma parametrelerinin etkisinde valfin fonksiyonunu yerine getirebilme şartları da araştırılıp valf dinamik davranışı irdelenmiştir.

Şekil-5, basit bir orifis olarak kabul edilen akış kanalında (Şekil-3'deki valf esas alınarak) değişik debi çıkış katsayısı C_d için akışkan debisinin basınç farkı ile değişimini vermektedir. Debi çıkış katsayısı 0,3 den 0,9'a kadar değişirken basınç farkı ΔP 0'dan 200 bar'a kadar değiştirilmiştir. Debi çıkış katsayısıyla lineer olarak artan debi, basınç farkı arttıkça artış göstermektedir. Bu, beklenen bir durumdur. Debi hesabı sabit bir valf açıklığındaki kesit alanı a_0 için yapılmıştır.

Şekil-6, 4-yollu valfte pistonu etkileyen F kuvvetinin debi çıkış katsayısı C_d ile değişimini vermektedir. Seçilmiş üç değişik basınç farkında kuvvetin dağılımı görülmektedir. Beklendiği gibi basınç arttıkça kuvvet artmaktadır. Debi çıkış katsayısının artışı, kuvveti de arttırmaktadır. 200 bar sistem basıncında çalışırken debi çıkış katsayısının 0,4 ten 0,8'e artırılması halinde pistonu etkileyen kuvvetin 2×10^3 'ten 10×10^3 N/m'ye çıktığı gözlenmektedir.



Şekil 5. Valf debisinin basınç farkı ile değişimi

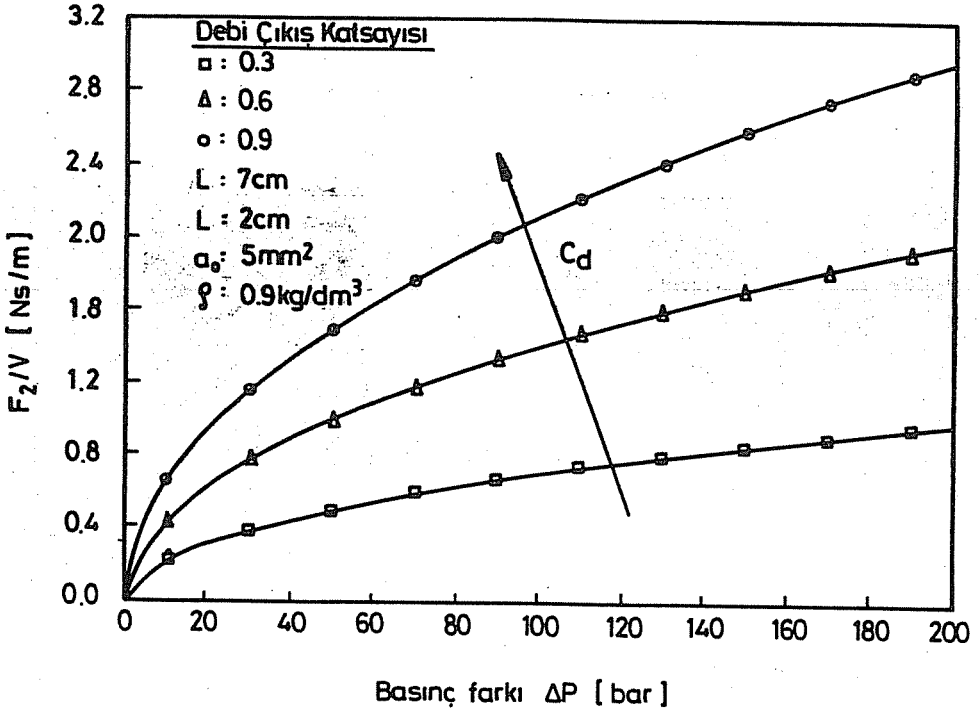


Şekil 6. Valf pistonuna gelen toplam kuvvetin değişimi

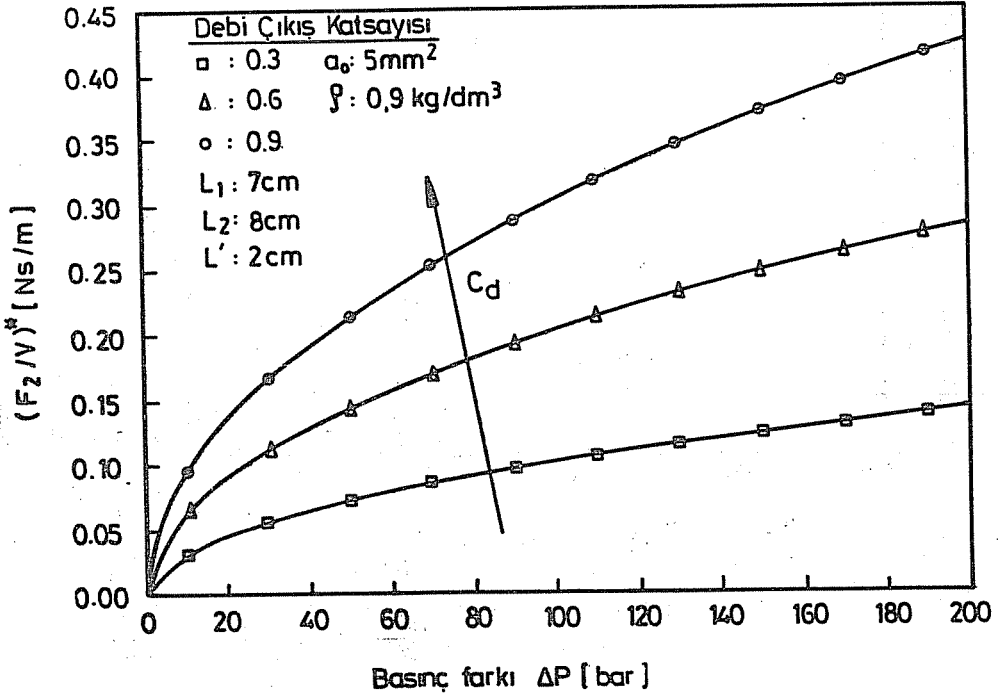
2-yollu valfte geçiş reaksiyon kuvveti akış için önemli bir parametredir. Şekil.7 bu amaçla elde edilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi, F_2/V 'nin basınç farkı ΔP ile değişimi değişik debi çıkış katsayısı C_d için araştırılmıştır. Burada L/L' oranı 3.5, a_0 ise 5mm^2 olarak değerlendirilmiştir. Basıncın küçük değerlerinde reaksiyon kuvveti ani artışa maruz kalırken, 40 bar'dan daha büyük basınçlarda bu değişim daha yavaş olmaktadır. Yine beklendiği gibi büyük debi katsayısında kuvvet de büyük değerlere ulaşmaktadır. Piston hızının bilinmesi halinde F_2 reaksiyon kuvveti bu eğri gruplarından rahatlıkla belirlenebilir.

4/3 valfi için geçiş reaksiyon kuvveti F_2 'nin değişimi incelenmiş ve Şekil.8'de verilen dağılım elde edilmiştir. Şekil.4'deki geometrik büyüklükler esas olmak üzere analiz yapılmıştır. Bu valf için reaksiyon kuvveti $(F_2/V)^*$ 'in 2-yollu valfin doğurduğu reaksiyon kuvvetinden daha küçük olduğu görülmektedir. Şekil.8'de verilen değişim Şekil.7'deki değişime benzemekte olup sadece kuvvetler farklı büyüklükte olmaktadır. 4/3 valfi reaksiyon kuvveti küçük olduğundan darbeli çalışma bu valfte daha az olmaktadır.

Valf pistonu bu kuvvetlerden başka bir de yay rijitliğinden ve viskoz sürtünmeden doğan kuvvetlerin etkisinde kalacaktır. Belirli bir hız ve ivmede hareket edip akış yönünü



Şekil 7. Geçiş reaksiyon kuvveti-Basınç değişimi ilişkisi

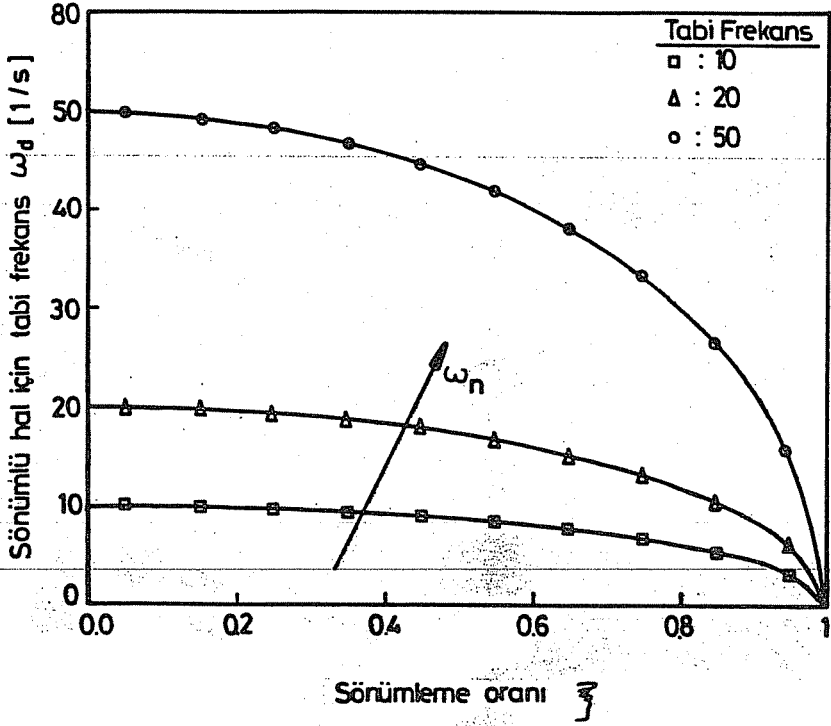


Şekil 8. 3/3 Valfte geçiş reaksiyon kuvveti

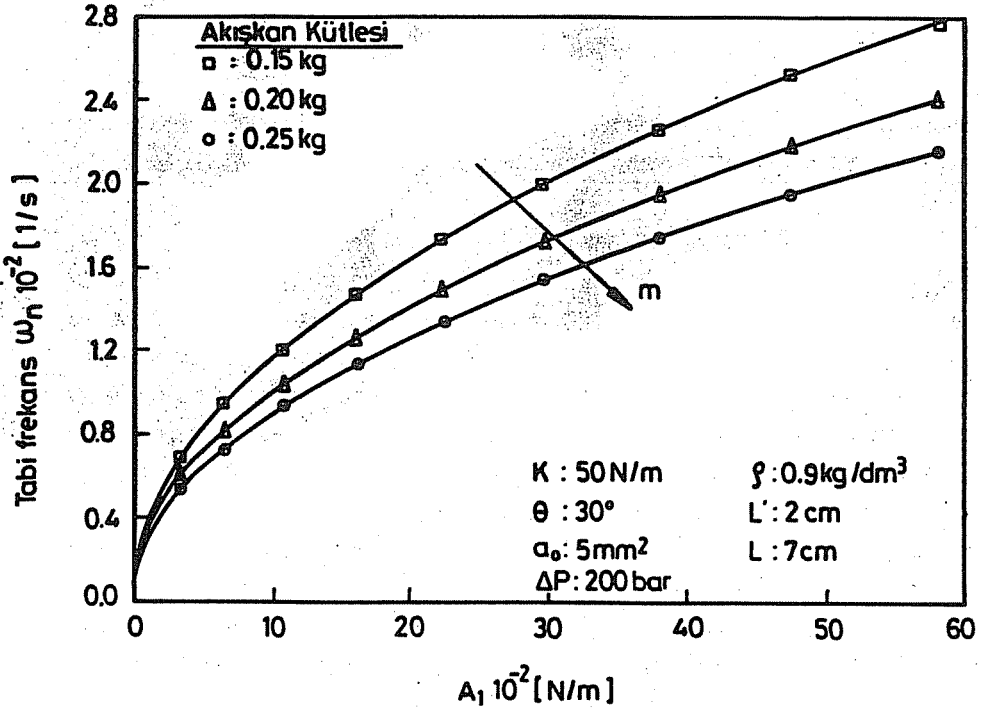
değiştiren valf pistonu (tiji), kütlesi m olmak üzere denge hali için bir hareket denklemine sahip olacaktır. Titreşim teorisinden hareketle sönümlü ve sönümsüz titreşim halleri analiz edilmiştir.

Şekil.9, sönümsüz tabii frekans ω_n olmak üzere, sönümlü hal için tabii frekans ω_d 'nin sönümleme oranı ξ ile değişimini özetlemektedir. Sönümleme oranının sıfır olması $\omega_d = \omega_n$ olduğu duruma tekabül etmektedir. Sönümleme oranı arttıkça, her ω_n için yine beklendiği gibi, sönümlü frekans azalmaktadır. Küçük ω_n değerlerinde sönümleme oranındaki artışlar ω_d 'de fazla hissedilmemekte ancak $\xi = 0,7$ değerinden sonra frekansta düşüş gözlenmektedir. Tabii ki $\xi = 1$ için frekans sıfıra düşmektedir. ω_n sönümsüz tabii frekans değeri 50 Hz'e arttırılırsa, sönümleme oranı ξ deki her artış, ω_d sönümlü hal frekansını azaltacaktır.

Piston kütlesinin artması sönümsüz tabii frekansta azalışa neden olacaktır. Değişik valf çalışma parametreleri etkisinde ω_n 'in değişimi incelenmiş ve Şekil.10'da sergilenen valf davranışı elde edilmiştir. Valf kuvvet değişkeni A_1 'in artışı bütün kütle değerlerinde ω_n ' frekansını artırmaktadır. Kütlenin artması frekansını azaltmaktadır. A_1 değişkeni içinde C_d



Şekil 9. Sönümlü halde tabi frekans değişimi



Şekil 10. Sönümsüz tabi frekans değişimi

başta olmak üzere birçok parametre olduğundan bu değişkenlerin bir kısmı sabit tutulup araştırmaya konu olan değişken artırılarak inceleme yapılabilir. Burada ana değişken C_d alınıp 0'dan 1'e kadar değiştirilmiştir. Yay rijitlik katsayısı $k=50N/m$ alınıp akışkanın valf çıkış kanalına terk ediş açısı $\theta=30^\circ$ olarak değerlendirilmiştir.

4. SONUÇ

Dört yollu - üç konumlu hidrolik yön kontrol valfinde pistonu etki eden kuvvetler değişik çalışma şartlarında analiz edilmiştir. Daimi ve daimi olmayan (ani durum) durumlardaki hidrolik kuvvetlerin piston hareketine etkileri araştırılmıştır. Piston titreşim analizi yapılmış ve sönümlenme şartları irdelenmiştir. Sürekli osilasyon için viskoz sönümlenme katsayısı başta olmak üzere debi çıkış katsayısı ve diğer geometrik büyüklüklerin (21) nolu eşitsizliğe uyması gerektiği belirlenmiştir. Valfin sürekli dalgalı çalışarak negatif sönümlenmeye sahip olacağı durumunun da yine aynı şarta bağlı olduğu görülmüştür. Bu tip hidrolik kontrol valflerinde piston tahrik mekanizmasının; sistemde oluşan atalet kuvveti yanında viskoz sönümlenme, yay direnç kuvveti ve akışkandan gelen sürekli ve ani reaksiyon kuvvetlerini yenecek büyüklükte kuvvet oluşturması gerektiği sonucuna varılmıştır.

5. SEMBOLLER

a_0	Valf çıkış kanalı kesit alanı
c	Viskoz sönümlenme katsayısı
k	Yay rijitlik katsayısı
m	Piston kütlesi
x	Piston yer değiştirme miktarı
C_d	Debi çıkış katsayısı
P	Basınç
ΔP	Basınç farkı
Q	Debi
V	Akışkanın valf kanalından çıkış hızı
θ	Akış çıkış açısı
ρ	Akışkan yoğunluğu
ω	Açısal hız (frekans)
ω_d	Sönümlü halde tabii frekans
ω_n	Sönümsüz halde tabii frekans
ξ	Sönümlenme oranı

6. KAYNAKLAR

1. Schmitt,A., *Endüstriyel Hidrolik Eğitimi*, Hidropar A .Ş. Çev. Aykun, H ., 1981 .
2. Henke,R.W., *Fluid Power Systems, Hydraulics and Pneumatics Magazine*, U.S.A., 1985.
3. Karacan,İ., *Endüstriyel Hidrolik*, Ankara, 1988.
4. Pekşen,B., *Basınç Emniyet ve Yön Denetim Valflerinin Teorik Analizi*, Ç.Ü. Makina Müh. Bölümü, Bitirme Ödevi, Adana, Eylül 1991.
5. Bozkurt,N., *Hidrolik Devre Elemanları ve Hidrostatik Güç İletimi*, Ç.Ü. Makina Müh. Bölümü, Bitirme Ödevi, Adana, 1989.
6. Thomson,T.W., *Vibration Theory and Applications*, Prentice - Hall Inc., U.S.A., 1978.
7. Goodwin,A.B., *Fluid Power Systems*; Thomson Litho Limited, East Kilbride, Scotland 1976.

AFŞİN-ELBİSTAN KÖMÜR MADENİNDE ÇALIŞAN EKSKAVATÖRLERDEKİ METALSEL AŞINMA KAYIPLARININ ENERJİ EŞDEĞERİNİN ARAŞTIRILMASI

M.Baki KARAMIŞ*, Durmuş ODABAŞ* ve Şeref GÖKSU**

*Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kayseri / Türkiye

** TKİ, Afşin-Elbistan, Kahramanmaraş / Türkiye

ÖZET : Teknik sistemlerde görülen aşınma, sadece malzeme kaybı değil, aynı zamanda teknik ve ekonomik kayıpların da esas sebebidir. Aşınma gerçekte bir enerji kaybıdır. Bu çalışmada Afşin-Elbistan kömür havzasında abrasiv ortamda çalışan ekskavatörlerin kesici uçlarında meydana gelen aşınma kayıplarının maddi ve enerji eşdeğeri araştırılmıştır. İşletme şartlarında yapılan deneysel çalışmalar sonucu bu kayıpların 1991 yılı itibariyle maddi değeri 238.2 milyar TL/yıldır. Bu maddi kayıp asgari ücretle çalışan 39700 işçinin bir yıllık toplam ücretine eşittir. Bir diğer deyimle aşınma kayıpları önlenmiş olsaydı asgari ücretten 39700 Türk insanına iş imkanı sağlanmış olacaktı. Bu iş gücü kaybının insan emeği cinsinden enerji eşdeğeri ise 50 milyar kcal/yıl'dır.

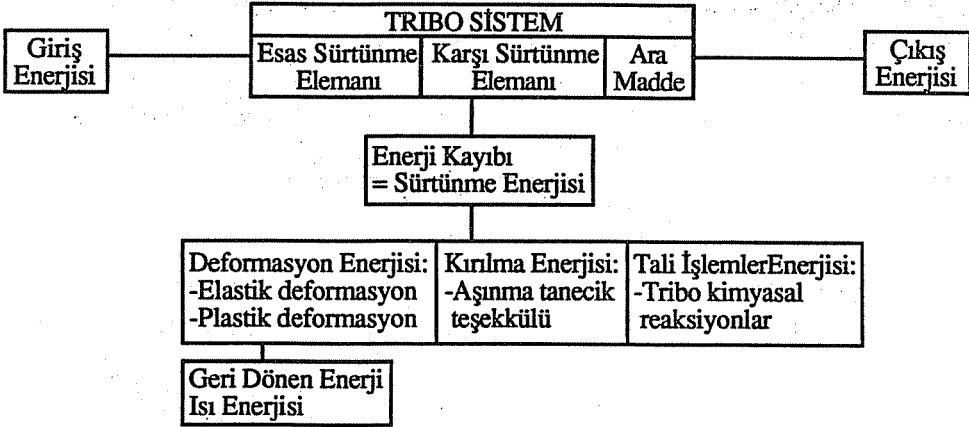
THE ENERGY EQUIVALENT OF MATERIAL LOSS ON EXCAVATOR BLADES WORKING IN AFŞİN-ELBİSTAN COAL MINE

ABSTRACT : Wear occurs in mechanical systems is not only material loss but also main cause of technical and economical losses. In the fact that, wear is an energy loss. In this study the energy equivalent of wear losses occur on the soil cutting blades of excavators were investigated by considering labour. According to the results of the experimental work performed under operating conditions, it was determined that these losses are equivalent to 238.2 billion TL a year or a working possibilities of 39700 Turkish persons respect to 1991. The energy equivalent to these losses is 50 billion kcal/year when labour is considered.

1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmelerin devamı, sınırlı hammadde ve enerji kaynaklarının en optimum şekilde kullanılmasına bağlıdır (1). Daha az bulunan hammaddeleri bol bulunanlar ile değiştirmek, kullanılmış malzemeleri yeniden hammadde olarak kullanılabilir hale getirmek ve mamül parçaların ömürlerini uzatmak optimum kullanmanın esasını oluşturur. Aşırı yüklemeye maruz teknik sistemlerin ömürleri sürtünme ve aşınma ile büyük ölçüde kısalmaktadır. Bu durum üretim maliyetini ve enerji tüketimini artırmaktadır. Bu sebeple günümüzde teknik sistemlerdeki araştırmalar sürtünme ve aşınmayı azaltma ve kontrol etme çalışmaları şeklinde yoğunlaşmıştır. Böylece malzeme ve enerji israfının önlenmesi sağlanacaktır.

İçinde sürtünme ve aşınma olaylarının cerayan ettiği teknik sistemlere genel olarak tribolojik sistem adı verilmektedir (2). Bir tribolojik sistemde sistematik bir analiz yapabilmek için sistem içindeki enerji dönüşüm şekillerinin bilinmesi gerekir. Sistem performansını iyileştirmek için ancak bu yolla optimum malzeme ve çalışma şartları seçmek mümkündür. Tribolojik bir olay esnasında sistemden alınan enerji giriş enerjisinden daha azdır. Giriş ve çıkış enerjileri arasındaki bu fark sistemin çalışması esnasında meydana gelen enerji kayıplarını ifade eden sürtünme enerjisine eşittir (3). Şekil-1'de tribolojik bir sistemde meydana gelen enerji dönüşüm prosesleri görülmektedir.

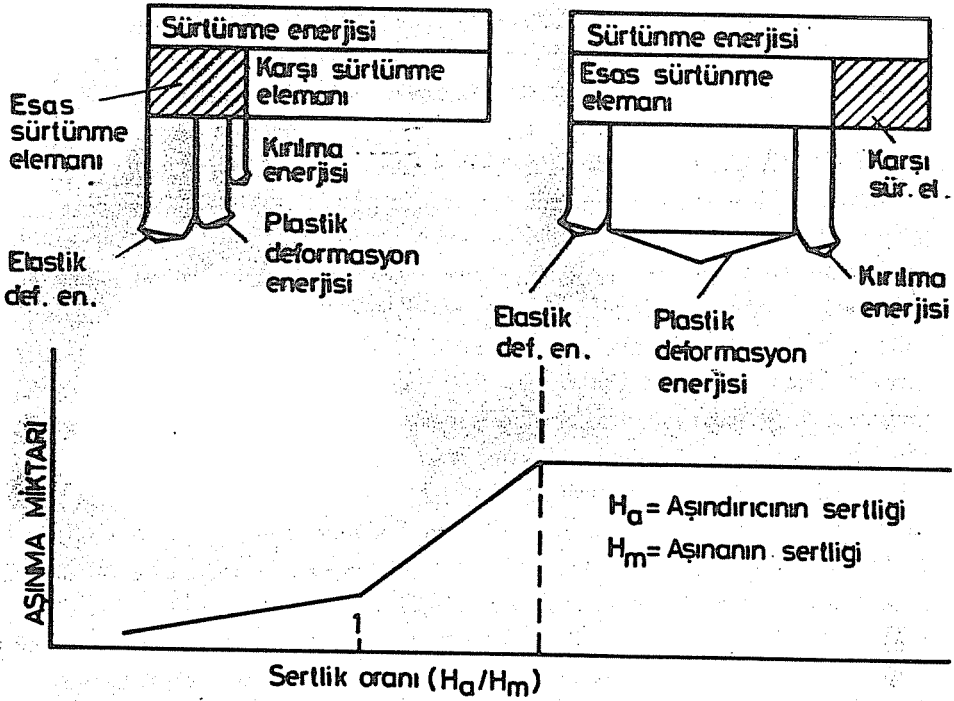


Şekil 1. Tribolojik sistemlerde enerji dönüşümü [3]

Sürtünme enerjisinin esas kaynağını plastik deformasyonlar oluşturur. Plastik deformasyon için harcanan enerji malzeme içinde ısı enerji olarak açığa çıkar. Kırılma ve yüzey enerjisi ise aşınma taneciklerinin teşekkülü ve yeni bir yüzey oluşmasını sağlar. Aşınmayı teknik ve ekonomik bakımdan önemli yapan bu enerjidir. Kırılma ve yüzey

enerjisi gerçekte sürtünme enerjisinin çok cüzi bir bölümünü teşkil etmesine rağmen büyük ölçüde malzeme ve ekonomik kayıpların esas sebebidir. Özellikle abrasiv aşınma ile meydana gelen kayıplar daha fazladır.

Abrasiv aşınmada aşınma miktarı aşındırıcının sertliği/aşınanın sertliği oranının bir fonksiyonudur (3). Şekil-2'den de görüldüğü gibi abrasiv aşınma aslında bir enerji dönüşüm mekanizmasıdır. Esas sürtünme elemanının aşındırıcıdan daha sert olması halinde enerji dönüşümünün büyük bir bölümü aşındırıcı içinde gerçekleşir. Esas sürtünme elemanında daha çok elastik deformasyon enerjisi meydana gelir. Bu sebeple bu eleman çok az aşınır. Şayet aşındırıcı daha sert ise bu sefer enerji dönüşümünün büyük bir kısmı plastik deformasyon şeklinde esas sürtünme elemanı içinde gerçekleşerek bu elemanın aşırı bir şekilde aşınmasına sebep olur.



Şekil 2. Abrasiv aşınmada sürtünme enerjisinin dağılımı [3]

Federal Almanya'da abrasiv aşınmadan dolayı yıllık kaybın 1979 yılı için 5 milyar DM'dan fazla olduğu hesaplanmıştır (2). Çok yüksek malzeme kaybına sebep olan abrazyon alanında aşınmayı azaltma tekniğinin sistematik uygulanmasıyla % 10-20 tasarruf sağlanacağı ileri sürülmektedir (4). Abrasiv aşınma daha çok madencilik, tarım aletleri, transport ve öğütme makinalarında ve sert ve taneli maddelerin işlenmesi arasında

meydana gelir. Ülke ekonomisinde önemli bir yere sahip olan maden, çimento, kömür, kireç taşı, tuz, kum, tuğla, seramik sanayileri, inşaat ve tarım sektörlerinde aşınma kayıpları oldukça fazladır. Ülkemizin çimento sanayiinde 1983 yılına göre aşınma kaybının 81 milyon TL/yıl olduğu tespit edilmiştir (5). Yine ülkemizin tarım sektöründe sadece pulluk uç demirlerinde toprağın iki defa sürülmesi kabulü ile yılda 4500 ton çeliğin aşınarak toprağa karıştığı hesaplanmıştır (2). 1991 yılı için bunun mali değeri 13.5 milyar TL'dir.

Sürtünme enerjisinin çok cüzi bir kısmını teşkil eden, fakat kaybı çok fazla olan kırılma enerjisinin sebep olduğu aşınma olayının hala daha çözüme kavuşturulamamasının nedenleri şunlardır (1): Olayın çok kompleks bir sistem özelliği olması nedeniyle takip edilmesinin zorluğu, laboratuvarında elde edilen sonuçların pratiğe aktarılmasının yetersizliği, yapılan ve yapılmakta olan araştırmaların uzun süre istemesi.

Bu çalışmada ülkemizin Afşin-Elbistan kömür havzasında çalışan ekskavatörlerin kesici uçlarında meydana gelen abrasiv aşınma kayıpları ve bu kayıpların enerji eşdeğeri araştırılacaktır. Öncelikle Afşin-Elbistan projesiyle ilgili bilgi vermek faydalı olacaktır.

2. AFŞİN-ELBİSTAN PROJESİNİN TANITIMI

Ülkemizin linyit yatakları içinde en büyük potansiyele sahip olmasına rağmen Afşin-Elbistan havzasındaki linyitler düşük ısıl değere sahiptir. Ülkemizin linyit rezervinin yarısı bu havzada olup, rezerve 3.4 milyar tondur (6). bu havzadaki ilk çalışmalar 1966'da Batı Alman Firması ve MTA işbirliği ile başlamıştır. 1967 yılında ilk linyitin çıkarıldığı havzanın alanı 120 km²'dir. Havzanın fizibilite raporları 1969-70 yıllarında hazırlanarak 1973'de yatırım faaliyetlerine başlanmıştır. Havzada ilk açık saha işletmesi Kışla Köyünde açılmış olup buradaki linyit rezervi 582 milyon tondur. Örtü tabakası/linyit oranı= 2.7 olup; linyitlerin ortalama ısıl değeri 1170 kcal/kg'dır.

Kışla Köyü açık saha işletmesinde kurulmakta olan 4x(340) MW gücündeki termik santral için 18 milyon ton/yıl; çevre illerin ihtiyacı için de 1.4 milyon ton/yıl olmak üzere toplam 19.4 milyon ton/yıl linyit üretimi planlanmıştır. Projede öngörülen yatırım faaliyetlerinin tamamına yakını gerçekleştirilmiştir. Projenin dış finansmanı Dünya Bankası, Alman Devlet Bankası ve ticaret kredileri, Japon Exim Bank ve Suudi Kalkınma Fonu tarafından karşılanmıştır. İşletmede 3000 m³/saat kapasiteli 6 adet döner çarklı ekskavatör, 5 adet 5600 m³/saat kapasiteli taşıyıcı bant mevcuttur (6).

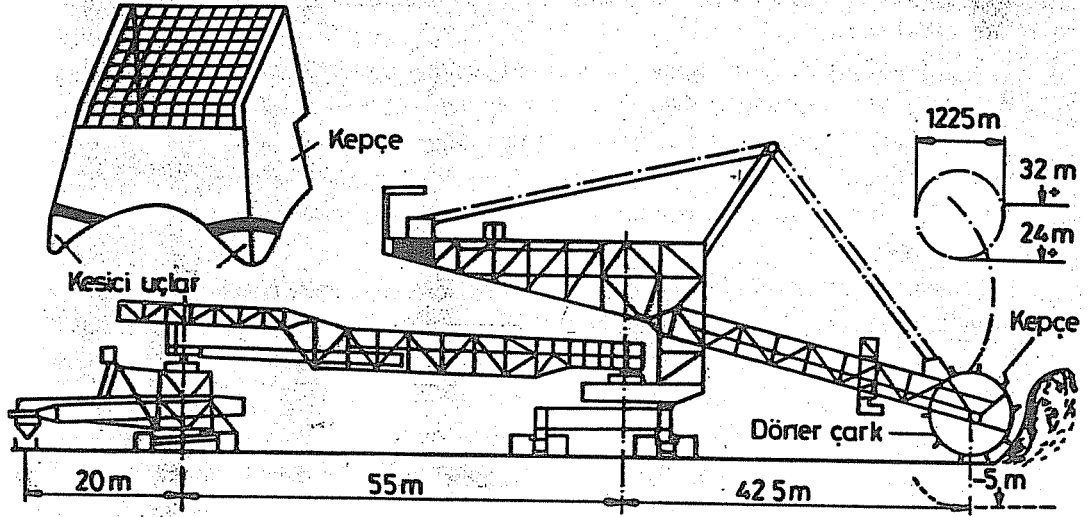
Döner çarklı ekskavatörler aşırı yüklenme şartlarında tamamen abrasiv ortamda çalışmakta olduğundan kesici uçlarda sık sık aşınma problemleri görülmekte olup, çözümü için çaba harcanmaktadır.

3. DÖNER ÇARKLI EKSKAVATÖRLERİN KESİCİ UÇLARINDA GÖRÜLEN PROBLEMLER VE ÇÖZÜMLERİ

Döner çarklı ekskavatörler işletmede toprak ve kömür kazma işleminde

AFŞIN-ELBİSTAN KÖMÜR MADENİNDE ÇALIŞAN EKSKAVATÖRLER

kullanılmaktadır. Çark üzerinde 20 adet kepçe ve her bir kepçede de 2 adet kesici uç olmak üzere bir çarkta toplam 40 adet kesici uç mevcuttur. Şekil-3'de döner çarklı bir ekskavatörün şematik şekli görülmektedir.



Şekil 3. Döner çarklı ekskavatörün şematik görünüşü

Ekskavatörlerin işletmeye konduğu ilk dönemlerde ortaya çıkan en önemli problem kesici uçların kısa bir sürede aşınması olayıdır. Orijinal olarak ekskavatörler üzerinde takılı gelen kesici uçların çalışmaya başladıktan çok kısa bir sürede aşınmasının ana sebebi, bu sistemin imalatçı Ülke Federal Almanya kömür havzası arazi yapısına göre dizayn edilmiş olması ve ülkemizin arazi şartlarına uygun olmamasıdır. Orijinal uçlar geniş kesme yüzeyine sahip olduğundan daha çok yumuşak zeminlerde verimli çalışmaktadır.

Ancak Afşin-Elbistan linyitleri işletmesinin arazi yapısı ince ve orta dokulu sert bir yapıya sahip olması nedeni ile orijinal uçlarda aşınma fazla olmaktadır. Kesme yüzeyinin artması sürtünmeyi artırdığından sistemin daha fazla güç harcamasına sebep olur. Ayrıca kesici uçların geniş yüzeyli olması sert zeminde büyük kesme direnci oluşturacağından çark kolundan palet takımına kadar bütün sistemi etkileyen burulma zorlamaları meydana gelir.

Orijinal uçların bir diğer problemi de kepçelere civatalar ile bağlı olmasından ileri gelir. Aşırı zorlanmalardan civatalar çok sık kesilerek sistem uzun süre boşa kalır. İlk ağırlığı 240 kg olan orijinal uçların 1/3'nün aşınmasına izin verilmekte olup daha fazla aşınma olduğunda kesici ucun bağlı olduğu kepçe konstriksiyonu da aşınmaktadır. Bu ise üretim, bakım ve tamir maliyetini artırmaktadır.

Yukarda izah edilen nedenlerden ekskavatörlerin orijinal kesici uçların Afşin-Elbistan kömür havzası şartlarına uygun olmadığı görüşüne varılarak bu tip uçların kullanılmasından vazgeçilmiştir. Bunun yerine arazi ve çalışma şartlarına uygun kesici uçlar geliştirilmiştir. Uç malzemesi olarak GS45.3, kepçe malzemesi için de GS42CrMo4V çelikleri kullanılmaktadır. Kesici uçların kesme yüzeyi azaltıldığından sistem daha sakin çalışmakta olup, aynı işletme şartlarında daha az güç sarfetmektedir. Ancak çalıştığı ortamın sert aşındırıcılar bakımından zengin olması kesici uçların ömürlerini daha da kısaltmaktadır. Bunu önlemek için uçlar aşınmaya dirençli CITODUR 600B tipi sert dolgu elektrodu ile kaplanarak kullanma ömrü ancak 100 saate çıkarılabilmektedir.

Daha sonra kesici uçların kepçelere bağlantısı kaynakla yapılarak cıvatalı bağlantıdan vazgeçilmiş ve uygulanan sert dolgu kaynağı ile aşınma direnci artırılarak uç ömrü 200-250 saate çıkarılmıştır. Ancak bu ömür yine de yeterli değildir. Çünkü bir ekskavatörün çalışma süresi 5000 saat/yıl, 6 gün/hafta ve 19.2 saat /gün olarak planlanmıştır. Bir ekskavatörün bir saat durması 1985 yılı için 4 milyon TL, 1991 için ise bu değer 45 milyon TL'na malolmaktadır. Oysa sistem haftada 6 gün çalıştığından 10 günde iki uç değişimi yapılması gerekir. Bir değişim 8 saate gerçekleştirilmektedir. Buna göre bir ekskavatörün için bir yıllık kesici uç değiştirme maliyeti 1991 yılına göre $(5000 \times 8 \times 20 \times 45.10^6) / (250) = 144$ milyar TL'dir.

Kepçelerin üzerinde yapılan kaynakla birleştirme işlemi çok sık tekrarlandığından kepçe malzemesinde aşırı yüklemelere karşı yorulma ve kırılmalar meydana gelmektedir. Bunun üzerine aşınma direncini artırıcı çalışmalar yoğunlaştırılmıştır. Afşin-Elbistan linyitlerinde müşavir firma olarak çalışan Rhein-Braun Consultigin teknik elemanları tarafından yapılan inceleme sonucu CORODUR 61 özlü sert dolgu elektrot uygulamasına geçildi. Daha sonra VAKO 61 özlü elektrodu kullanılarak sertlik 55-60 HRC'ye çıkarıldı. Kullanma ömrü ise 800-1000 saate kadar artırılmıştır. Ancak kesici uçlardaki aşınma problemi tamamen giderilememiştir. Öte yandan uçların eşit aşınmadığı görüldü. Bunu gidermek için kepçelere 4°'lik bir eğim verilmiş ve kepçe malzemesi olarak 20Mn5 çeliği kullanımına geçilmiştir.

Her ne kadar VAKO 61 elektrodu ile kesici uç ömrü ortalama 900 saate çıkarılmışsada uçların aşınmasından dolayı meydana gelen malzeme ve enerji kaybının teknik ve ekonomik bakımdan oldukça büyük olduğu yapılan araştırmadan açıkça görülecektir.

4. KESİCİ UÇLARDA AŞINMA KAYIPLARININ TAYİNİ

İşletme şartlarında yapılan deneysel çalışmalar sonucu VAKO 61 elektrodu kaplanarak kullanılan kesici uçların ortalama 900 saat çalıştıktan sonraki aşınma miktarları Tablo 1'de, bir adet kepçenin montaj ve demontaj, sert dolgu ve birleştirme kaynağı için gerekli olan işçilik ve malzeme maliyeti değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Afşin-Elbistan kömür havzasında çalışan 6 adet ekskavatörün kesici uçlarında meydana

AFŞİN-ELBİSTAN KÖMÜR MADENİNDE ÇALIŞAN EKSKAVATÖRLER

gelen aşınmanın sebep olduğu kayıplar sıra ile şöyle hesaplanmıştır:

- 1- Kesici uçların montaj ve tamirat maliyeti: Tablo 2'den görüldüğü gibi bir ekskavatörün tüm uçlarının bir değişimi 25.8 milyon TL'e olmaktadır. Bir ekskavatörün çalışma süresi 5000 saat/yıl ve uçların ömürlerinin 900 saat olduğu dikkate alınrsa yılda 5.5 değişim için toplam maliyetin 6 ekskavatör için $(25.8) \times 6 \times (5.5) = 851.4$ milyon TL/yıl olduğu hesaplanır.
- 2- Toprağa karışan malzeme miktarı: İşletme şartlarında yapılar deneysel çalışma sonucu 6 ekskavatörden toprağa aşınmayla karışan malzeme miktarı 18.4 ton/yıl'dır. Bu kaybın maddi değeri kaplama malzemesiyle birlikte (1991 yılı çelik fiyatı 10000 TL/kg) 184 milyondur.

Tablo 1. VAKO 61 elektrodu ile kaplanan bir kesici ucun 900 saat sonundaki ortalama aşınma miktarı

Ortalama Ağırlık [kg]	Kaplama Sonrası Ağırlık [kg]	Son Ağırlık [kg]	Son Ağırlık [kg]
53	61	47	14
1 ekskavatördeki toplam uç sayısı = 40 adet			
Kaplama öncesi toplam uç ağırlığı		40x53 = 2120 kg	
Kaplama sonrası toplam uç ağırlığı		40x61 = 2440 kg	
Aşınmadan sonraki toplam uç ağırlığı		40x47 = 1880 kg	
Toplam malzeme kaybı		2440 - 1880 = 560 kg	

- 3- Hurdaya atılan malzeme miktarı: Altı ekskavatörden hurdaya atılan uç malzemesi $1880 \times 6 \times (5.5) = 62$ ton/yıl'dır. Bu malzemenin yeniden kullanılabilir hale getirilmesi için gerekli harcama değeri (1991 yılı çelik üretim maliyeti 3000 TL/kg) = 186 milyon TL'dir.
- 4- Boşta kalma maliyeti: Her bir ekskavatörün kesici uçlarının bir değişimi için 8 saat boşta kalması gerekir. Altı ekskavatör için boşta kalma süresi toplam $20 \times 6 \times 8 \times (5.5) = 5280$ saat/yıl'dır. Bir saatlik kaybın 1991 yılı için değerinin 45 milyon olduğu dikkate alınrsa altı ekskavatörün toplam boşta kalma maliyeti $5280 \times 45 \times 10^6 = 237$ milyar TL olmuştur.
- 5- İşçilik için harcanan enerji: Altı ekskavatör için toplam harcanan işçilik süresi 10560 saat/yıl'dır. Bir işçinin bir saatlik çalışma için harcadığı enerji 544 kcal/saattir (7). Buna göre harcanan enerji toplam 5.7 milyon kcal/yıl'dır.

İlk dört kaybın maliyeti toplam 238.2 milyar TL'dir. 1991 yılı için bir işçiye asgari ücretten ödenen para 6 milyon TL/yıl'dır. Buna göre aşınmanın sebep olduğu kaybın mali toplam tutarı ile 39700 Türk insanına iş imkanı sağlanır. Bu kaybın enerji eşdeğeri

insan emeğine göre $(39700) \times (544) \times (2340) = 50$ milyar kcal/yıl'dır. Burada bir insanın çalışma süresi 2340 saat/yıl olarak alınmıştır. Afşin-Elbistan havzasında çıkarılan linyitlerin ortalama ısıl değerini 1170 kcal/kg olarak alınırsa 43 bin ton/yıl linyitin kullanılmadan atıldığı sonucu ortaya çıkar. Bunun maddi değeri (kömür fiyatı 200.000 TL kabulü ile) 8.6 trilyon TL'dir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma ile varılan en önemli sonuç teknik ve ekonomik yönden büyük kayıpların ana sebebi olan aşınma teknolojinin gelişmesiyle önemi gittikçe artan bir problem özelliğini sürdürmesidir. Afşin-Elbistan kömür havzasında çalışan 6 adet ekskavatörün sadece kesici uçlarında meydana gelen aşınma kayıplarının maddi değeri 238.2 milyar TL/yıl'dır. İşsizliğin büyük boyutlara ulaştığı ülkemizde bu kayıpların bedeli 39700 türk insanının işsiz kalmasıdır. Bu iş kayıpların insan emeğine göre enerji eşdeğeri ise 50 milyar kcal/yıl'dır. Bu miktar ülkemizde mevcut tüm tesislerden sadece birinde meydana gelmektedir. Ülkemizdeki tüm tesis ve sanayi kollarında aşınma konusunda tam bir araştırma yapıldığında çok korkunç değerlerde bir enerji kaybının olduğu görülecektir.

Aşınma gerçekte bir enerji kaybıdır. Ekonomik ve teknik yönden böylesine önemli bir konuda sistematik çalışmaların yoğunlaştırılması ve yeni tekniklerin geliştirilmesi zaruridir. Ancak aşınma tamamen yok edilemez. Fakat bu konuda imalatçı ve kullanıcıyı aydınlatarak daha uygun ısıl işlem, imal usulü ca malzeme kullanılması sağlanarak çalışma şartlarına en uygun özellikte alet ve makina imali ve kullanılması mümkündür.

6. KAYNAKLAR

1. Odabaş,D., "Otektoidal Çeliklerin Kayma Sürtünmesi Aşınmasında Adhesiv Aşınma Katsayısının Araştırılması", E.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 1987.
2. Karamış,M.B., "Toprak İşleme Aletlerinde İş Organının Aşınmasının Etüdü" E.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kayseri, 1985.
3. Uetz,H. and Föhl,F., "Wear As Enerji Tarsformation Process" Wear 49, 253-264, 1978.
4. Mauritz,K.G., "Abrasion Projection, Slide Promation, Plastic System Components", Kalenborn-Handbook, West Germany, 1979.
5. Dördüncü Beş Yıllık Kalkınma Planı, 1979-1983 T.C. Başbakanlık D.P.T. Yayınları, Ankara, 1979.
6. Afşin-Elbistan Linyit İşletmesi Arşivlerinden.
7. Bridges,T.C., Smith,E.M., "A Method For Determining The Total Energy Input For Agricultural Practices", Transsactions of The ASME, 781-784, 1979.

METAL VE ALAŞIMLARIN YÜKSEK SICAKLIK OKSİDASYON MEKANİZMASI

O. Tuğrul GÖNCEL ve Abdulkadir YAŞAR

*Çukurova Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye
Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana/Türkiye*

ÖZET : *Bu çalışmada metal ve alaşımların yüksek sıcaklık oksitlenme mekanizmaları ve oksit tabakalarının yarı-iletken özelliklerin ve bunlardan dolayı büyümelerin oksit tabakasının mekanik özellikleri incelenmektedir. Ayrıca bu konuda bugüne dek yapılan çalışmalara değinilip, ileri atılan oksitlenme mekanizmaları üzerinde ileri sürülen teoriler tartışılacaktır.*

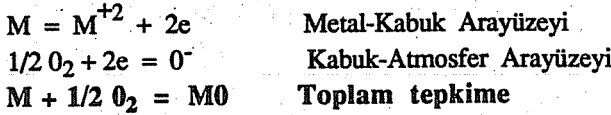
HIGH TEMPERATURE OXIDATION MECHANISM OF METALS AND ALLOYS

ABSTRACT : *In this work, the oxidation mechanism of metals and alloys and growth of the oxide scale as p-type or n-type semiconductors and the effect of the growth mechanism on the mechanical properties of the scale at high temperatures will be investigated. The work has been carried out till now will also be reviewed and thus the proposed oxidation mechanisms will be discussed.*

1. GİRİŞ

Genel anlamda, metallerin yüksek sıcaklık oksitasyon veya korozyonu, metal ile ortam gazlarının reaksiyonu olarak tanımlanır. Hemen hemen bütün metaller yüksek sıcaklıklarda hava veya oksijenle tepkimeye girerler. Sıcaklık arttıkça, gaz türbinlerinin, roketlerin, fırınların tasarımında ve petro-kimya tesislerinde yüksek sıcaklık oksitasyonunun ve korozyonunun önemi her geçen gün artmaktadır.

Oksijen gazıyla oksitasyon elektrokimyasal bir tepkime olup metal ve oksijenin kimyasal bir birleşimi şeklinde tanımlanamaz. Bu olay iki kısmi tepkimeden oluşmaktadır;



Metal-oksijen denge diyagramları birkaç kararlı oksit göstermektedir, örneğin demir, FeO, Fe₃O₄ ve Fe₂O₃ gibi kararlı fazlar oluşturmaktadır (1-2).

Saf metallerde oksit kabuk oluşumunda, genellikle potansiyel olarak kararlı oksitlerin tamamı oluşur. Oksijence zengin bileşik kabuk-gaz arayüzeyinde, metalce zengin bileşik metal-kabuk arayüzeyinde yer alır. Demirin 560°C üzerinde, oksijenli bir ortamda oksitlenmesinde kabuk sırasıyla FeO/Fe₃O₄/Fe₂O₃ den oluşur. Her fazın kalınlığı, her fazın iyonik difüzyon hızıyla saptanabilir. Bazı metallerin oksitasyonunda kabukta kararlı fazların yerine metastabil fazlar oluşmaktadır (3).

Fe, Ni, Cu, Cr, Co gibi elementlerde oluşan kabuk, kabuk/gaz arayüzeyinden dışarı doğru katyonik difüzyon ile büyür, yani kabuk p-tipi yarı-iletken özelliği göstermektedir. Bu nedenle metal/kabuk arayüzeyinde katyonik difüzyon sonucu katyon boşlukları oluşmakta ve bu mikroboşlukların yoğunlaşmasından dolayı önemli oranda boşluklar görülür, Şekil 1. Katyonların dışarı doğru hareketi ile meydana gelen boşluklara, oksijen molekülleri girmektedir. Böyle kabukların, kabuk/gaz arayüzeyinde katyon ve oksijen moleküllerinin kimyasal reaksiyonuyla bütün kenarlara doğru lateral bir büyüme gösterdiği de kabul edilmektedir. Ta, Nb, Hf, Ti ve Zr gibi metaller oksijen-iyon difüzyonuyla oksit oluştururlar. Metallerin oksitlenme davranışı ile ilgili ilk sistematik çalışma, 1923 de, Pilling ve Bedworth tarafından yapılmıştır. (4) Bu araştırmalara göre, oluşan oksitin hacmi, o oksiti oluşturan metalin hacminden büyük ise oluşan oksit koruyucu özellik gösterir, aksi durumda koruyucu özellik göstermez. Bu olay matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilir, (4).

$$R = \frac{Wd}{Dw} \quad (1)$$

Burada W : oksitin moleküler ağırlığını

w : metalin atomik ağırlığını

D ve d oksitin ve metalin spesifik yoğunluklarını
R, metalin birim hacminden oluşan oksitin hacmini göstermektedir.

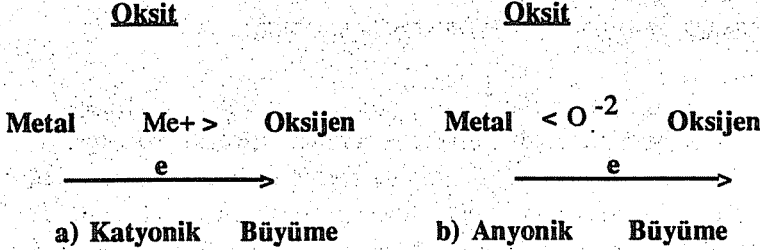
Araştırmacılara göre (3) ideal oran 1 olarak bulunmuştur. Hacim oranı; 1 den küçük ise metal yüzeyinde yeterli miktarda oksit oluşmaz ve oluşan oksit koruyucu olamaz. Hacim oranı 1 den büyük ise kabukta büyük oranda basma gerilmeleri oluşur. Bu gerilmeler, oksit kabuğunun çatlamasına ve dökülmesine yol açar. Deneysel sonuçlara göre Pilling-Bedworth kuralı bazı durumlarda geçerli olmamaktadır. Birçok metaller, oksit/hacim oranı belirli sıcaklıklarda birden büyük iken yüzey gözenekli bir oksit ile kaplı olmakta, belirli bir sıcaklığın üzerinde oksit hala gözenekli iken oksit/metal oranı 1 den küçük olmaktadır. Metallerin oksitasyon dayançlarını saptamada salt hacim oranını bilmek yeterli olmamaktadır. Koruyucu bir oksit oluşturmak için metal ve yüzey oksitin genleşme katsayıları birbirine eşit veya yakın olmalıdır, kabuk-metal adhezyonu iyi olmakla birlikte, ergime noktası yüksek, buhar basıncı da düşük olmalıdır. Kırılmaya karşı yüksek sıcaklık plastisitesi iyi, metal iyonları veya oksijen için difüzyon katsayıları elektrik iletkenliği düşük ve ayrıca basma gerilmelerinden kaçınmak için hacim oranı 1'e yakın olmalıdır. Böylece metal veya alaşımların oksitasyon direnci, birçok faktörlere bağlıdır, bunlardan biri ise hacim oranıdır (3).

Oksitlenme işlemi, oksit çekirdeklerinin büyümesi şeklinde ilerlemektedir. Metal oksit tabakası, katyon ve elektronlar (katyonik difüzyon) veya O^{2-} iyonları vasıtasıyla (anyonik difüzyon) yayılabilir. Katyonik difüzyon, anyonik difüzyondan daha büyüktür, zira metal iyonları genellikle O^{2-} iyonlarından daha küçük ve kafes içinden kolaylıkla geçebilirler. Bu nedenle metal yüzeyindeki oksit tabakasının iki yönde büyüdüğü kabul edilmiştir.

Anyonik difüzyonla, yeni oksit, metal/oksit arayüzeyinde oluşur. Bundan dolayı oksit içinde çekme ve basma kuvvetleri oluşur. Eğer oksitin plastisitesi yetersizse bu kuvvetler ya filmin kırılmasına veya metal/oksit arayüzeyinde boşlukların oluşmasına neden olur. Katyonik difüzyonla yeni oksit, gaz/oksit arayüzeyinde oluşur. Bu durumda oksitte gerilme meydana gelmez, fakat metal/oksit arayüzeyinde katyon boşluklarının biraraya gelmesi ile metal yüzeyinde büyük boşluklar meydana gelir, B Şekil 1, ve oksit tabakasının metal ile teması azalır ve herhangi bir ısı şokta oksit tabakası dökülür. P- tipi yarı iletken özelliği gösteren, yani katyonik bir büyüme gösteren oksit kabuğu şekil 2 de görülmektedir.

Metal/oksit sisteminde, markalama tekniği kullanılarak oksit tabakasının anyonik veya katyonik difüzyonla büyüdüğü saptanabilir (4) metal yüzeyine bir marka görevi yapacak Platin parçalar yerleştirilir, metal oksitlendiği zaman platin markanın yeri belirlenir. Platin marka metal/oksit arayüzeyinde bulunuyorsa oksit, katyonik difüzyonla, gaz/oksit

arayüzeyinde bulunuyor ise anyonik difüzyonla büyüdüğü saptanır (5).



2. OKSIDASYON KINETİĞİ

Oksitasyonun en önemli parametrelerinden birisi de reaksiyon hızıdır. Reaksiyon ürünleri genellikle metal yüzeyinde kaldığı için, oksitasyon hızı genellikle birim alanda ağırlık artışı olarak ölçülür. Değişik şartlar altında değişik metaller için oksitasyon sırasında gözlenen ampirik hız kanunları mevcuttur.

Bir katı metal, oksijen gazı ile reaksiyona girdiği zaman reaksiyon ürünü bir metal oksittir. Oksit tabakası koruyucu nitelikte olabilir veya olmayabilir. Koruyucu olmayan oksit tabakası oksijenin metal yüzeyine ulaşmasına engel olamaz. En basit ilişki lineer kanundur;

$$W = k_L t \quad (2)$$

Burada; W = birim alanda ağırlık artışı

t = zaman

k_L = Lineer hız sabitidir.

Lineer oksitler, iki reaktant (metal ve oksijen) arasında bir difüzyon engeli göstermeyen muhtemelen boşluk, çatlak içeren oksitlerdir. Büyüme hızları kalınlıklarından bağımsızdır. Na, K, Ta, Nb lineer hızla oksitlenirler.

1933 yılında Wagner (6), saf metallerin ideal iyonik-difüzyon kontrollü oksitasyon mekanizmalarının aşağıda gösterildiği gibi parabolik oksitasyon hız kanuna uyduğunu göstermiştir.

$$W^2 = k_p t + C \quad (3)$$

Burada;

- W = Birim alanda ağırlık artışı
t = zaman
k_p = parabolik hız sabiti
c = bir sabittir.

Oluşan oksit tabakası, oksijen ve metal arasında devamlı bir engel meydana getirir. Oksitin koruma gücü kalınlığı ile orantılı olup bu kanun birçok metalin yüksek sıcaklık oksitasyonuna uymaktadır. Metal/oksit ve oksit/ortam arayüzeyindeki reaksiyonlar ve oksit tabakası içindeki kütle transferi ile oksit tabakası büyür. Oksit kabuktaki boşluklar gibi morfolojik komplikasyonlar, ideal parabolik oksitasyonu engeller. Kabuktaki iyonik difüzyon, oksitasyonu sınırlar veya kontrol eder. Parabolik kanun ile ilgili Wagner teorisi aşağıdaki varsayımlara dayanmaktadır (6).

1. Oksit tabakası metale kenetlenmiştir.
2. Oksit içinde kütle transferi yavaştır.
3. Tabaka çok kalın ve elektriksel olarak nötr kabul edilir.

Teori, Cu/Cu₂O sisteminin düşük sıcaklıkta aşağıda görüldüğü gibi kübik kanuna uyduğu görülür.

$$W^3 = k_c t + C \quad (4)$$

Fakat yüksek sıcaklıkta parabolik kanuna uyduğu görülür. Özel şartlar altında bazı metallerin kübik kanuna göre oksitlendiği de görülür. Zirkonyumun oksitlenmesi bu kanuna uyar. Kübik hız kanunu, metal içinde oksijenin çözünmesi ve difüzyon sınırlandırılmış kabuk oluşumunun bir bileşimi olarak tanımlanır.

Logaritmik hız kanunu ,

$$W = k_e \log(ct+A) \quad (5)$$

olarak ifade edilir. Burada k_e, C ve A sabitlerdir. Logaritmik oksitlenme davranışı, genellikle düşük sıcaklıklarda ince oksit (1000 A° den az) tabakalarında gözlenir (3).

Al, Cu, Fe düşük sıcaklıklarda, oksijenli ortamlarda başlangıçta hızla oksitlenmekte, yüzeylerinde birkaç dakika içerisinde oksit tabakası oluşmakta ve reaksiyon hemen durmaktadır. Bu şekilde oluşan oksit tabakası yaklaşık 50 A° kalınlığındadır.

Metallerin belirli bir hız kanununa göre oksitlenmesi beklenir. Pratikte bu şekildeki

ideal modele az rastlanmaktadır. oksitasyon sırasında oksit kabuk içinde ve metal/oksit arayüzeyinde boşluklar oluşur. Bazı sistemlerde (örneğin Ti,Zr) oksit, metal içinde çözünür. Çoğu hallerde oksit tabakası çatlamakta ve porozite içermektedir. Bu durumda oksitasyon, herhangi bir hız kanununa uymakta ve meydana gelen oksite, süreksiz oksit adı verilir.

Bioksit İçinde Alaşımın oksitasyon Mekanizması

Termodinamik olarak kararlı oksitler, sürekli koruyucu bir tabaka geliştirmeyebilirler. Saf metalin yüzeyi temiz olduğu zaman başlangıçta absorpsiyon ve kemisorpsiyon basamakları oluşabilir ve bu ihmal edilebilir. Metal yüzeyinde oksit çekirdeklenir ve yana doğru yüzey kaplanıncaya kadar büyür. Tipik bir örnek Şekil 3 de görülmektedir. Reaktantların kabuk yüzeyine taşınma işlemi, kabuk kalınlığından bağımsızdır.

Parabolik büyüme kanununa göre transportun hızı kalınlıkla ters orantılıdır.

Kararlı oksiti B_2O_3 olan bir A ve B alaşımı olarak düşündüğümüzde, bu oksit bütün yüzeyi kaplayabilir. Ancak büyümenin devam edebilmesi için alaşımdaki B'nin konsantrasyon eğimi artmalıdır. Alaşım/Oksit arayüzeyinde B nin konsantrasyonun başlangıçtaki değerden düşerse B_2O_3 ün yerine AB_2O_4 oksiti oluşmaya başlar. Bu şartlar kabukta kütle transferi ile ilgilidir. Alaşımda ise B ve A'nın transportu ve fazların termodinamik kararlılığıyla ilgilidir (7).

Bir olasılık, oksijen alaşıma önemli bir hızla yayılabilir. B_2O_3 parçacıkları dahili olarak oluşmuş B_2O_3 tin dış B_2O_3 'e dönüşmesi için şart termodinamiği içermez, zira her iki durumda aynı fazlar vardır. Alaşımdan dışarı doğru B nin relatif difüzyon hızı, yüzeyden içeri doğru oksijenin difüzyon hızı ile ilgilidir.

Wagner, iç oksit parçacıklarının oksijen difüzyonunu engellediğini böylece oksitin hacim oranının kritik bir değeri geçtiğini ayrıca içeri doğru difüzyonun durduğunu ve dış kabuğun geliştiğini ileri sürmektedir (6).

Kritik hacim oranı alaşımda B nin atom oranına B_2O_3 'ün moleküler oranına bağlıdır. Alaşımın yüzeyinde oksitantin aktivitesinin azalması, içeri doğru transportu azaltır. Böylece metal içinde, gazların çözünebilirliği dış basınçla ilgilidir, özellikle oksijen için, çözünebilirlik oksijen basıncının karekökü ile değişir buna Sievert's Kanunu da denmektedir (7).

Sonuç olarak, verilen bir sıcaklıkta, verilen bir alaşım için oksijen basıncındaki düşme, dış kabuk oluşumu için eğimi arttırır. Pratikte alaşım kararlı B_2O_3 oksiti oluşturmak için yeterli miktarda B içeriyorsa, iç oksitten daha çok dış oksit oluşur. Yüzeyde sürekli B_2O_3 kabuk geliştirilemiyorsa bunun nedeni alaşım yüzeyinde birçok oksit fazının çekirdeklenmesi ve büyümesidir. Hipo-ötektik durumda B_2O_3 kadar A0, AB_2O_4 çekirdeklenir. B_2O_3 optimum koruyucu oksit ise diğer oksitlerin daha hızlı büyüyeceği açıktır. Böylece yüzey hızla A0 ile kaplanır - AB_2O_4 de oluşması mümkündür. Oksit tabakasının yana doğru büyümesi hem direkt oksitasyon prosesiyle hemde Ni-Al

sistemleri için (22) ve (23) de verilen değişim reaksiyonları olur. Alaşım/AO arayüzeyinde oksijen basıncı AO'nun parçalanma basıncına eşittir, genellikle dış basınçtan önemli oranda düşüktür ve bu dış B_2O_3 ün oluşumunu teşvik edebilir. Bununla beraber diğer çevrimlerde, hızla büyüyen A: alaşım yüzeyinden B_2O_3 'ü uzaklaştırır. Bir AO matrikste B_2O_3 parçacıklarından ibaret iki fazlı karışım oluşur, daha sonra B_2O_3 taneciklerini AB_2O_4 'e dönüştüren reaksiyon yer alır (7).

Oksitasyon Termodinamigi

Normal olarak metaller ve oksijen arasındaki reaksiyonun Gibbs potansiyel enerjisi, katılar ve diğer gazlar arasındaki herhangi bir reaksiyonunkinden çok daha yüksektir. En basit durum, tek ve katı bir oksijen oluşturmak için tek bir oksitantanın saf metal ile reaksiyonudur. Oksitin parçalanma basıncı, oluşumun standart serbest enerjisi ile ilgilidir. Saf metaller için sıcaklığın fonksiyonu olarak, oluşumun standart serbest enerji değişimini çizmek en yaygın yöntemdir (8).

Pratikte gaz karışımları basit değildir. Düşük oksijen aktiviteli atmosferleri aşağıdaki reaksiyonlara güvenilerek oluşturmak mümkündür,



$$p_{O_2} = k_1 \frac{p_{H_2O}^2}{p_{H_2}^2} \quad (7)$$

burada, k_1 : reaksiyon için denge sabiti olup, ve sıcaklık fonksiyonudur.

Sabit bir sıcaklıkta, oksijenin kısmi basıncı, su buharı ve hidrojenin mutlak basıncına bağlı olmamakla birlikte, onların oranına bağlıdır. Sonuç olarak reaksiyon,



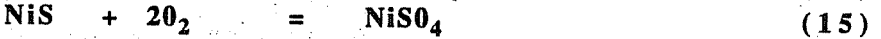
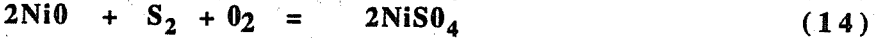
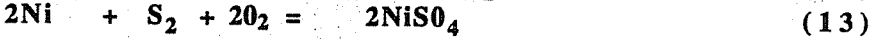
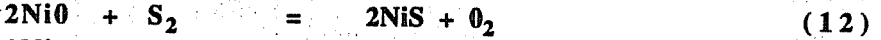
$$p_{O_2} = k_3 \frac{p_{CO_2}^2}{p_{CO}^2} \quad (9)$$

Bu reaksiyon, oksijenin kısmi basıncını oluşturmak veya kontrol etmek için kullanılabilir. Oksijenin kısmi basıncı CO_2 ve CO oranına bağlıdır. Onların mutlak basıncına bağlı değildir.

Hem metal hem de oksit fazlarının birim aktivitede olduğu kabul edilmiştir. Bir alaşım oksitlenmeye başlarsa veya oksit aktivitesi değişirse, Ellingham diyagramında gösterilen

doğrular yer değiştirir (8).

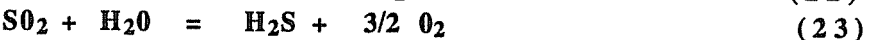
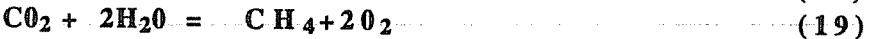
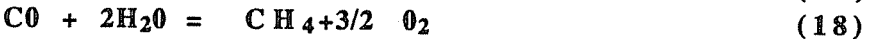
Kükürt ve oksijen içeren bir ortamda, saf nikelin korozyon davranışı incelenmiştir. Oluşabilecek reaksiyonlar aşağıdaki gibi yazılabilir;



Ni ve NiO ile dengede bulunan oksijenin kısmi basıncını, Ni ve NiS ile dengede bulunan kükürtün kısmi basıncını saptamak mümkündür.

Bu tip diyagramlar, önceleri cevherin ergitilmesi ile ilgili araştırmalarda kullanılmışlardır. oksitasyon reaksiyonlarının araştırılmasında da çok kullanışlıdır. İki faz arasında aşırı katı çözünebilirlik varsa, fazların kararlılık bölgeleri arasında keskin sınır çizmek kesinlikle doğru değildir. oksitantlar alaşımlarla reaksiyona girerse; ürünlerden biri ortamla reaksiyona girer veya çözünürse, diyagram geliştirilmek zorundadır.

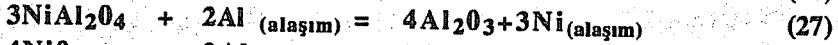
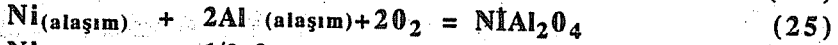
Sonuç olarak, oksitant aktiviteleri, çok etkenli bir atmosferde, güçlükler gösterebilir. Örneğin; yanma atmosferleri; CO, CO₂, CH₄, H₂O, H₂, H₂S, SO₂, SO₃, O₂, NH₃, N₂ vs. içerebilir. Oluşan reaksiyonlar aşağıdaki gibi yazılabilir;



Çok önemli pratik problemler, alaşımların oksitasyonu ile ilgilidir. Alaşım ile dengede olan oksit fazını hesaplamak için termodinamik açıdan bakmak gerekecektir.

Giggins ve Pettit (9), 900-1300 °C de Ni-Al sisteminin oksitasyonu için analizler yapmış ve aşağıdaki reaksiyonların alaşım yüzeyinde yer alabileceğini göstermiştir.

METAL VE ALAŞIMLARIN YÜKSEK SICAKLIK OKSİDASYON MEKANİZMASI



Bu eşitliklere, kütle hareket kanunu uygulandığında aşağıdaki denge şartları elde edilir.

$$(a^2_{\text{Al}}/a^3_{\text{Ni}}) = \exp (4\Delta G^\circ_{\text{Al}_2\text{O}_3} - 3\Delta G^\circ_{\text{NiAl}_2\text{O}_4}) / RT \quad (29)$$

$$(a^2_{\text{Al}}/a^3_{\text{Ni}}) = \exp (\Delta G^\circ_{\text{NiAl}_2\text{O}_4} - 4\Delta G^\circ_{\text{NiO}}) / RT \quad (30)$$

Burada, a_{Al} ve a_{Ni} , alüminyum ve nikelin aktiviteleri $\Delta G^\circ_{\text{NiO}}$, $\Delta G^\circ_{\text{Al}_2\text{O}_3}$ ve $\Delta G^\circ_{\text{NiAl}_2\text{O}_4}$ oksitlerin oluşum standart enerjileri, R bir sabit ve T sıcaklıktır. Denge aktivite oranları, Elliott ve Gleiser, Tretjakow ve Schmalzreid'in serbest enerji dataları kullanılarak hesaplanabilir (8).

Alaşım/oksit arayüzeyinde, $a_{\text{Al}}=10^{-18.5}$ (900 °C de) den daha büyük ise, alaşımın yüzeyinde kararlı oksit sadece Al_2O_3 tir. 28 nolu reaksiyon sağa doğru büyür. Alaşım/oksit arayüzeyinde $a_{\text{Al}}=10^{-18.5}$ (900 °C de) ve $a_{\text{Al}}=10^{-20.4}$ (900 °C de) arasında yer alırsa, kararlı oksit sadece NiAl_2O_4 spinel oksitidir.

Sonuç olarak, $a_{\text{Al}}=10^{-20.4}$ (900 °C de) değerinden daha düşük ise kararlı oksit NiO olacaktır.

Kararlı Al_2O_3 , NiAl_2O_4 veya NiO için gaz fazda sağlanan oksijen aktivitesi Al_2O_3 , NiAl_2O_4 , NiO için tanımlanan değerinden daha büyüktür. Gaz fazda oksijen aktivitesi, denge değerinden daha düşükse, alaşım yüzeyinde hiçbir oksit kararlı olamayacaktır.

Pratikte ya Al_2O_3 veya NiO in kararlı olması beklenebilir. Sadece kararlı Al_2O_3 oluşturmak için gerekli Al miktarı son derece küçüktür. Bununla beraber pratikte dış kabuk oluşturmak için gerekli miktar bu kadar düşük değildir. Böylece oksit oluşumunu tahmin etmek için termodinamik yaklaşım yeterli değildir. oksitasyon kinetiğinin de bilinmesi gereklidir.

Genel olarak, oksitler stokiometrik değildirler. Gerçek kompozisyonları, moleküller, formüllerinden farklıdır. Stokiometrik olmayan bir metal oksit, reaktantlarda birini (metal veya oksijen) fazla miktarda içerir ve termodinamik denge kurulamaz. Metal ile oksijen gazı arasındaki denge, oksijen basıncının, oksitin çözünme basıncına eşit olduğu haldir. Denge, sistemin serbest enerjisini minimum yapacak, sadece belirli bir stokiometrik bozukluk için kurulur. Stokiometrik olmayan oksit elektriksel olarak nötrdür. Bu nedenle oksit içindeki fazla bileşen iyon halinde ise oksit kusurlarında zıt işaretli yüklere sahiptirler. Oksit yapısının stokiometrik olmayıp, aşırı veya eksik iyon içermesi veya oksit içinde

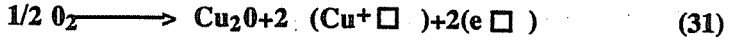
boşlukların bulunması yapı kusurları olarak tanımlanır. Bu boşluklar, kabuğu oluşturmak için kafes sisteminden ayrılan katyonların geride bıraktıkları mikroboşluklardır. Daha sonra, birçok mikro boşluk birleşerek oksit/metal arayüzeyinde yoğunlaşarak daha büyük boşluk oluşturmaktadır.

Bileşenlerden birinin oksit içinde aşırı miktarda bulunması, kütle transformasyonuna neden olmaktadır. Bu durum, metal yüzeyinde meydana gelen sürekli oksit filmin oluşum mekanizmasının anlaşılmasına yardımcı olmaktadır.

p - tipi oksitler

Bu tip oksitler aşırı miktarda oksijen içerirler. Bu aşırı oksijen yeni oksit tabakası oluşumuna yardımcı olur. Oksijen, O^{2-} iyonu şeklinde bulunur. p-tipi oksitlerden bazıları şunlardır, Cu_2O , NiO , FeO , CoO , Ag_2O , MnO , SnO , Cr_2O_3 .

Cu_2O 'i örnek olarak ele alınırsa, oksijen iyonunun oluşması için elektronlara yeni oksit tabakasının oluşması içinde Cu^+ iyonlarına ihtiyaç vardır. Cu^+ iyonları ve elektronlar oksit içinden sağlanır. Aşırı oksijen, katyon boşlukları ($Cu^+ \square$) ve elektron boşlukları ($e \square$) oluşturmak suretiyle Cu_2O şeklinde birleşir. Düşük elektron seviyeleri pozitif çukur olarak adlandırılır ve Cu^{+2} şeklinde gösterilir. Cu_2O içinde, pozitif çukurlar pozitif yüklü iken katyon boşlukları negatif yüklüdür. Pozitif çukurların katyon boşlukları tarafından tutulması ihmal edebilmek için sıcaklığın yeterince yüksek olduğu kabul edilmiştir. Cu_2O in stokiyometrik kusurunu veren reaksiyon aşağıdaki gibi yazılabilir.



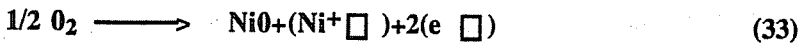
Denkleme göre emilen her oksijen molekülüne karşılık dört katyon boşluğu ve dört pozitif çukur oluşur. Stokiyometrik olmayan bu tip oksitlerin elektrik iletkenliği pozitif çukurların hareketi ile sağlanır. Bundan dolayı bu tip oksitlere, pozitif taşıyıcı, p tipi oksit denir (10-11).

Katyon boşlukları veya pozitif çukurların dengedeki konsantrasyonları n ile, oksijen basıncı p arasındaki ilişki Cu_2O için

$$n = p^{1/8} k^{1/4} \quad (32)$$

dür. Burada k , reaksiyon denge sabitidir.

NiO için stokiyometrik bozukluğu veren tepkime aşağıdaki gibidir;



pozitif çukur, katyon boşlukların 2 katıdır. Pozitif çukur konsantrasyonu n_p ise, katyon

boşluğu konsantrasyonu $n_p/2$ dir.

$$n_p = z^{1/3} \cdot k^{1/3} \cdot p^{1/6} \quad (34)$$

Bütün p tipi oksitler için, kusur konsantrasyonu ve böylece elektriksel iletkenlik oksijen basıncının artması ile artmaktadır.

n-tipi oksitler

Stokiyometrik olmayıp, elektrik iletkenliği serbest elektronların hareketi ile sağlanan iletkenlere; negatif iletken (negatif taşıyıcı) veya n-tipi oksit adı verilir.

ZnO, arayerler yerleşmiş aşırı metal içeren bir oksittir. ZnO parçalandığı zaman, oksijen gazı ve metal iyonu oluşturmaktadır. Zn atomları oksit içinde arayerlere yerleşir. Bu Zn, Zn⁺ veya Zn⁺⁺ oluşturmak suretiyle iyonlaşabilir. Aşırı miktarda elektron meydana gelmesi ile bir elektron seviyesi ve serbest elektronlar oluşur. ZnO oluşum mekanizmasına oksijen basıncının etkisi tamamiyle açık değildir.

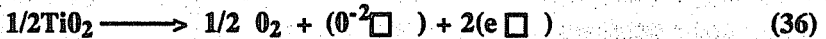
Arayerlerdeki Zn⁺ iyonları veya serbest elektronların konsantrasyonu ve basınç arasındaki ilişki şu şekilde ifade edilir,

$$n = k^{1/2} \cdot p^{-1/4} \quad (35)$$

Burada; n: kusur konsantrasyonu, p: oksijen basıncı, k: reaksiyon için denge sabitidir.

Diğer n-tipi oksitler : TiO₂, CdO, Al₂O₃, V₂O₅ dir.

TiO₂ için stokiyometrik kusuru veren reaksiyon şöyledir,



Bütün n tipi oksitler için kusur konsantrasyonu oksijen basıncının artmasıyla azalır.

Bazı metallerin oksitasyonu, kabuk içindeki hataların difüzyonuyla kontrol edilir. p-tipi oksitlerden, pozitif çukurların n-tipi oksitlerde ise elektron çok hızlı hareketleri nedeniyle oksitasyon reaksiyonları, p-tipi oksitlerde katyon boşlukları, n-tipi oksitlerde ara yerlerdeki iyonlar kontrol eder. Boşlukların ve arayerlerdeki iyonların yayılma şartları farklıdır. difüzyon katsayısı sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir.

Sonuç olarak, Cu₂O, NiO gibi p-tipi oksitlerde bulunan fazla miktarda oksijen katyon boşluklarının oluşmasını sağlar. TiO₂ gibi n-tipi oksitlerde anyon boşluklarının oluşmasıyla ortamda fazla miktarda metal bulunur ve taşınan oksijendir.

Taşınma olayı, aşırı metal iyonlarının difüzyonu ile sağlanır. Bu durumda difüzyon kontrollü oksitasyon, oksit kabuktaki iyonik hata konsantrasyonu azaltılarak yavaşlatılabilir.

İyonik hataların konsantrasyonu, arayer katyonları, aşırı elektronlar veya metal iyon

boşlukları, elektron çukurları) kafes sisteminde bulunan yabancı iyonlardan etkilenebilir. Wagner'a göre Ni/NiO sistemi için parabolik hız sabiti, oksijenle denge halindeki oksit içindeki katyon boşluklarının konsantrasyonuna bağlıdır (6). Bu konsantrasyon azaltılabilirse, oksitasyon hızında azalır. Ni^{+2} den daha düşük değerlikli bir elementin (örneğin Lityum) ilavesiyle, katyon boşluklarının konsantrasyonu azalır ve elektron çukurlarının sayısı artar. Ni^{+2} yerine geçen her Li^+ iyonu, NiO kafesine bir negatif yük kazandırır. Elektriksel nötrülüğü sağlamak için her Li^+ iyonuna karşılık bir pozitif çukur (e^-) oluşmaktadır. Ni^{+2} yok olur ve oksitasyon hızı yavaşlar. Ni^{+2} den daha yüksek değerli bir elementle (örneğin Cr^{+3}) alaşımlandırılması durumunda, Cr^{+3} , Ni^{+2} nin yerine geçer ve oksitasyon hızını artırır.

n-tipi oksit olan ZnO 'de Zn^{++} yerine tek değerli Li^+ iyonu geçerse bir serbest elektron yok olur. Arayerdeki Zn^+ konsantrasyonu artar. Böylece metalik Zn ile dengede olan oksit içindeki bu iyonların konsantrasyonuna bağlı olan oksitasyon hızı da artar. Daha yüksek değerlikli $Cr^{+3}Al^{+3}$ ile alaşımlandırılma durumunda ise oksitasyon (difüzyon kontrollü) hızı düşmektedir. Çünkü arayer metal iyon konsantrasyonu düşmekte ve aşırı elektronların sayısı artmaktadır. Bu kabuller, alaşım elementi, ana metalin oksiti içinde serbestçe çözünerek oksit oluşumuna katılırsa geçerlidir. Alaşım elementi çözünmüyorsa veya bir spinel oksit oluşturuyorsa geçersizdir.

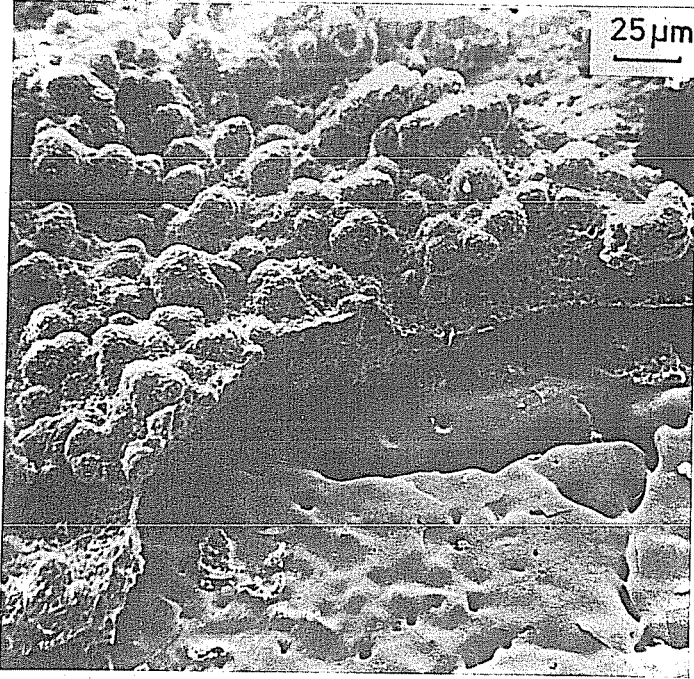
Alaşım yüzeyinde koruyucu ve sürekli bir oksit tabakası istenir. Bununla beraber, bu oksit tabakası gelişmezse veya oluşan oksit tabakası alaşım yüzeyinden koparsa, alaşım yüzeyinde koruyucu oksiti oluşturan element azaldığı için tekrar koruyucu oksiti oluşturmak zordur. Yüzey oksit kabukta oluşan hataların nedenleri şunlardır :

1. Alaşım/oksit arayüzeyinde, gelişen porozlarla kabuk büyüme mekanizması meydana gelir. Oksitler, oksijenin içeri doğru transportunda daha çok, metal iyonlarının dışarı doğru transportuyla büyürlerse bu durumun oluşması muhtemeldir. oksitasyon ilerledikçe poroziteler büyür. Aşırı durumlarda, metal ile oksit tabakasının tamamen temasını engeller. Poroziteler kendi kendilerine oksitin koruyuculuğunu durduramazlar. Ama metalin desteği olmaksızın oksitin mekanik mukavemeti küçüktür ve oldukça küçük şoklar da kırılmasına neden olur.

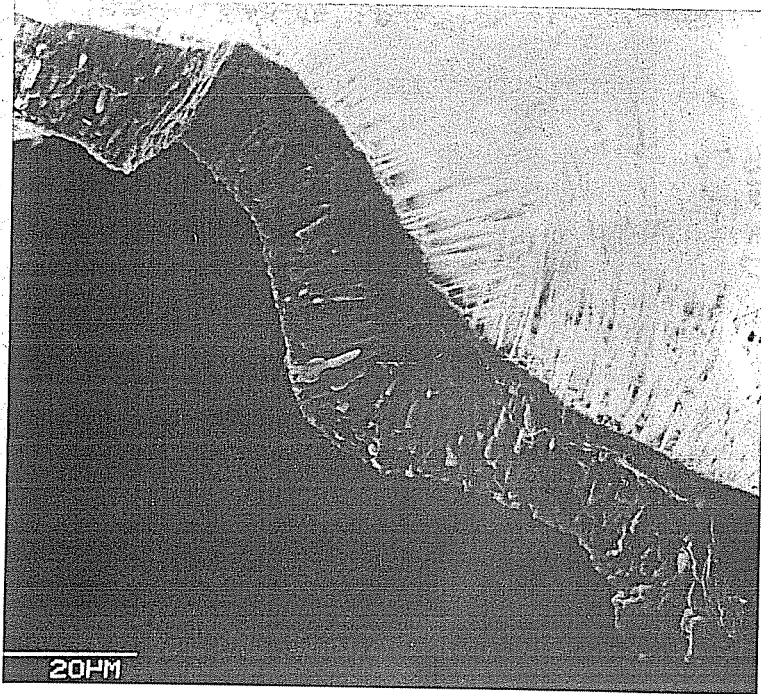
2. Kabuk büyüme mekanizması, kabuğun kırılmasına yetecek büyüklükte, büyüme gerilimleri oluşturur. Koruyucu oksitte gerilim sistemi, oksitte basma, metalde çekmedir (12-14).

3. Metal ve oksitin termal genleşme katsayısı önemli oranda farklıdır. Termal çevrimler sırasında oluşan gerilimler oksit hatasına neden olabilir. Genel olarak, çok hızlı sıcaklık değişimleri hata olasılığını artırır. Isıl çevrim sırasında dökülme, koruyucu kabuktaki hatanın çok önemli nedenlerinden biridir.

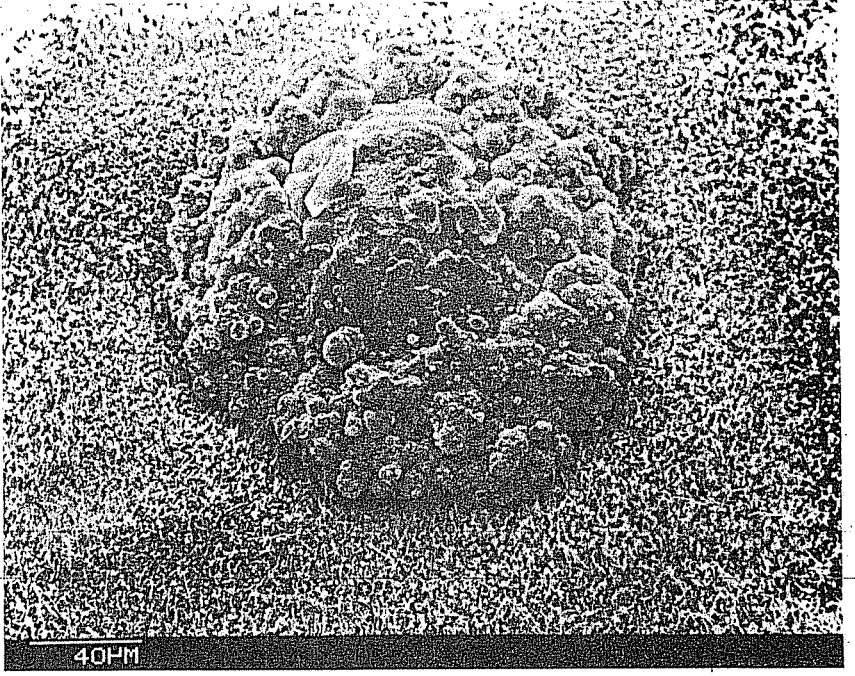
4. Metalik parça değişik gerilim sistemlerine maruz kalır, zira oksit tabakası izafi olarak ince olduğu için, sistemin bütün mekanik mukavemetine katkısı oldukça azdır, parçanın elastik deformasyonu koruyucu kabuğun kırılmasına neden olabilir.



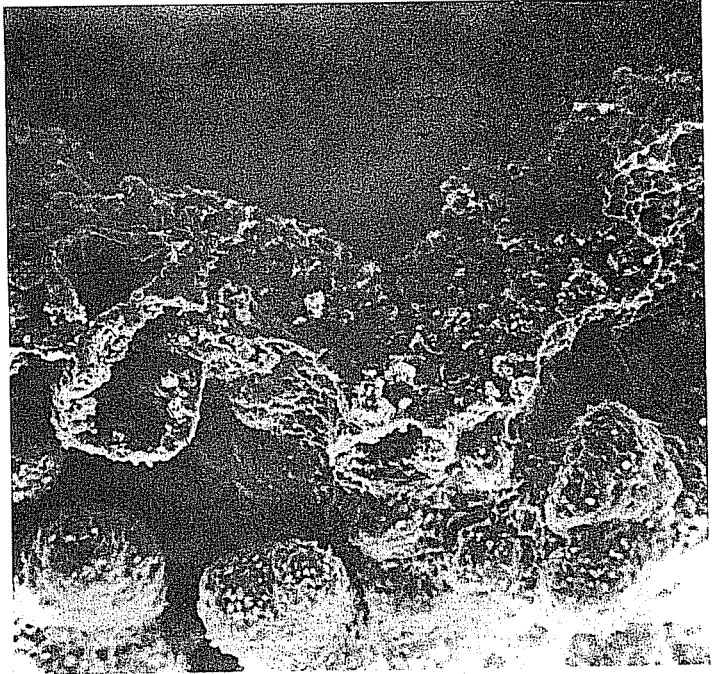
Şekil 1. Katyonik Difüzyon Nedeniyle Metal Yüzeyinde Oluşan Boşluklar.



Şekil 2. P-Tipi Yarı İletken Özelliği Gösteren Bir Oksit Kabuğu.



Şekil 3. Bioksitant Ortamında Lateral Bir Büyüme Gösteren Oksit Kabuğu.



Şekil 4. n-Tipi Yarı İletken Özelliği Gösteren Bir Oksit Kabuğu.

5. Koruyucu oksit kabuk erezyonla kalkar.

Erezyona, ortam gazlarının yüksek hızı, yüksek buhar basıncı, yabancı partiküller, yanma sonucu oluşan küller neden olabilir. Bu prosesin önemine dair çok az kaynak mevcuttur.

Basit oksitasyon çalışmalarında kabuk hatalarının etkisi önemli değildir. Bununla beraber bir de çok oksitlenmiş ortamlarda çok önemli olur.

Bazı durumlarda metal veya alaşımlar uzun bir süre için koruyucu olarak oksitlenebilirler. Fakat sonra oksitasyon hızı artar hale gelebilir. Kısa süreli testlerde, malzemenin uzun süre kullanıma uygun olup olmadığı tahmin edilemez. Özel örnekler, Oksijen içeren ortamda 300-450°C de, Nb'un oksitasyonu 350°C de Su ve Co içeren yüksek basınçlı CO₂ içinde orta C'lu çeliklerin oksitasyonu, Aynı atmosferde, 600°C ye yakın sıcaklıklarda %9 Cr'lu Fe-Cr alaşımının oksitasyonu, 1000°C ye yakın sıcaklıklarda, O₂ veya hava içinde yüksek Cr'lu paslanmaz çeliklerin oksitasyonudur. Oksit kabuğunun kırılması (breakaway) ile ilgili genel bir mekanizma vermek mümkün değildir.

Başlangıçta koruyucu kabuğun koruyucu olma özelliği kaybolur. Koruyucu kabuğu tekrar oluşturmak için yeni proses basit değildir. Bazen değişik fiziksel formda başlangıçtaki oksitin aynısı oluşur. Diğer defalar metal yüzeyindeki alaşımın kompozisyonu değiştiği için farklı kompozisyona sahip oksitler oluşur.

Bu problem birden daha çok oksitlenmiş ortamlar da çok önemlidir (5).

3. BAZI PRATİK GÖZLEMLER

800°C nin üzerindeki sıcaklıklarda, izafi olarak yüksek oksijen aktiviteli ortamlarda kullanılan alaşımların yüzeyinde koruyucu oksit tabakası oluşturulmaya çalışılır. Bu oksitler, Cr₂O₃, Al₂O₃, SiO₂ ve (Fe,Mn,Ni,Co) (Fe,Mn,Cr,Al)₂ O₄ gibi bazı spinel oksitler olabilir. Gerçekte sürekli bir oksit tabakası oluşturmak mümkün değildir. düşük oksijen aktiviteli atmosferlerde demir bazlı alaşımlarda oluşan M₃O₄ tipi oksitler hariçtir.

SiO₂ kabuklar nadiren kullanılır, zira dökülme direnci ile ilgili problemler arzeder. SiO₂ in termal genleşme katsayısı, çoğu alaşımlardan önemli derecede farklıdır. Bununla beraber, Nb,Ta, W, Mo gibi refrakter metaller SiO₂ kabuk oluşturan silis kaplamalarla korunur. Pratikte, çalışma ömrü kısadır ve termal çevrimlerin sayısı sınırlıdır.

Cr₂O₃ kabuk oluşturan alaşımlar yaygın olarak kullanılır. Ni-%20Cr alaşımı, Ni, Co, veya Fe bazlı yüksek Cr içeren süper alaşımların tamamı koruyucu Cr₂O₃ kabuk oluştururlar. Cr₂O₃ oluşturmak için gerekli Cr miktarı yüksektir. En azından Ni için %20, Fe için %13, Co için %25 tir. Cr katı çözeltinin mukavemetini artırır ve alaşım ergime sıcaklığı üzerine izafi olarak küçük bir etkisi vardır. Sigma fazı gibi zararlı intermetalik bileşikler stabilize edebilir. Cr₂O₃ kabukla ilgili asıl problem, buharlaşabilen Cr₂O₃ oluşturmalarıdır. Bu proses su buharının bulunmasıyla artabilir. Bu oksitasyon difüzyonla sınırlanır.

Oluşumun hızı gaz hızının bir fonksiyonudur. Gaz türbinleri gibi yüksek hızlı ortamlarda 900°C nin altında kullanılırlar.

Al₂O₃ koruyucu kabuk oluşturan alaşımlar da çok yaygındır. Prensipite Al₂O₃ uygun olabilir. Çünkü büyüme hızı Cr₂O₃ den daha yavaştır ve çok daha kararlıdır. Bununla beraber basit alaşımlardan kararlı Al₂O₃ oluşturmak için gerekli Al miktarı beklenenden daha yüksektir ve dökülme direnci çok iyi değildir. Al, gerek intermetalik bileşik oluşturduğu için Cr'dan daha az istenen bir alaşım elementidir ve ergime noktası istenmeyen derecelere düşürür. Alaşımında %10Cr'un bulunması Al₂O₃ kabuk oluşturmak için gerekli miktarın büyük oranda düşürür. Ni ve Co bazlı alaşımlar için %5 Cr gereklidir. Üçlü alaşımlarda değişik oksit fazlarının olduğu kompozisyon bölgeleri oksit haritalarında gösterilebilir.

Cr'un fonksiyonu olarak yüzey oksiti oluşturulur ve böylece alaşım yüzeyinde düşük oksijen aktivitesi Al'un iç oksitlenmesinden daha çok dış oksitlenmesini sağlar. Ni bazlı süper alaşımlarda Al₂O₃ kabuk ile mükemmel oksitasyon direnci sağlanabilir.

Hem Cr₂O₃ hemde Al₂O₃ oluşturan sistemler için termal çevrim sırasında oksitin dökülmesi, çoğu uygulamalarda ömrü sınırlayan bir faktördür. Alaşıma (Ni-%20Cr) nadir toprak elementlerinin ilavesinin Cr₂O₃ kabuğun dökülme eğilimini azalttığı deneylerle ispatlanmıştır.

Nikrom alaşımlarında deoksitasyon için kullanılan Ce da benzer etkiyi gösterdiği görülmüştür. Aynı etki, ThO₂, Y₂O₃, TiO₂ hatta Al₂O₃ gibi herhangi bir reaktif element oksitinin ince dağılımı ile elde edilmiştir. Reaktif elementlerin ilavesi kabuğun adhezyonunu arttırmakta ve Cr₂O₃ oluşturmak için gerekli Cr miktarını azaltmaktadır ve Cr₂O₃ tabakasının büyümesi için gerekli zaman kısadır ve koruyucu Cr₂O₃ tabakası alaşımın bütün yüzeyine yayılır.

Al₂O₃ kabuk oluşturan alaşımlarda, kararlı bir oksitin çökeltisi, oksit adhezyonunu geliştirir. Fakat Ni-Cr-Al veya Co-Cr-Al sistemlerinde Al₂O₃ kabuk oluşturmak için gerekli Al miktarı önemli oranda değiştirmez.

Isıya dirençli alaşımlar normal olarak çeşitli reaktif elementleri içerirler. Amaç mekanik özellikleri geliştirmektir. Ti bazan Ni bazlı alaşımlarda zararlı olabilir. Çünkü TiO₂, titanyum zengin fazların üzerinde oluşabilir ve bu koruyucu kabuğu bozabilir. Kompleks oksitleyici ortamlarda, küçük miktarlarda alaşım elementi ilavesi çok önemli bir rol oynayabilir.

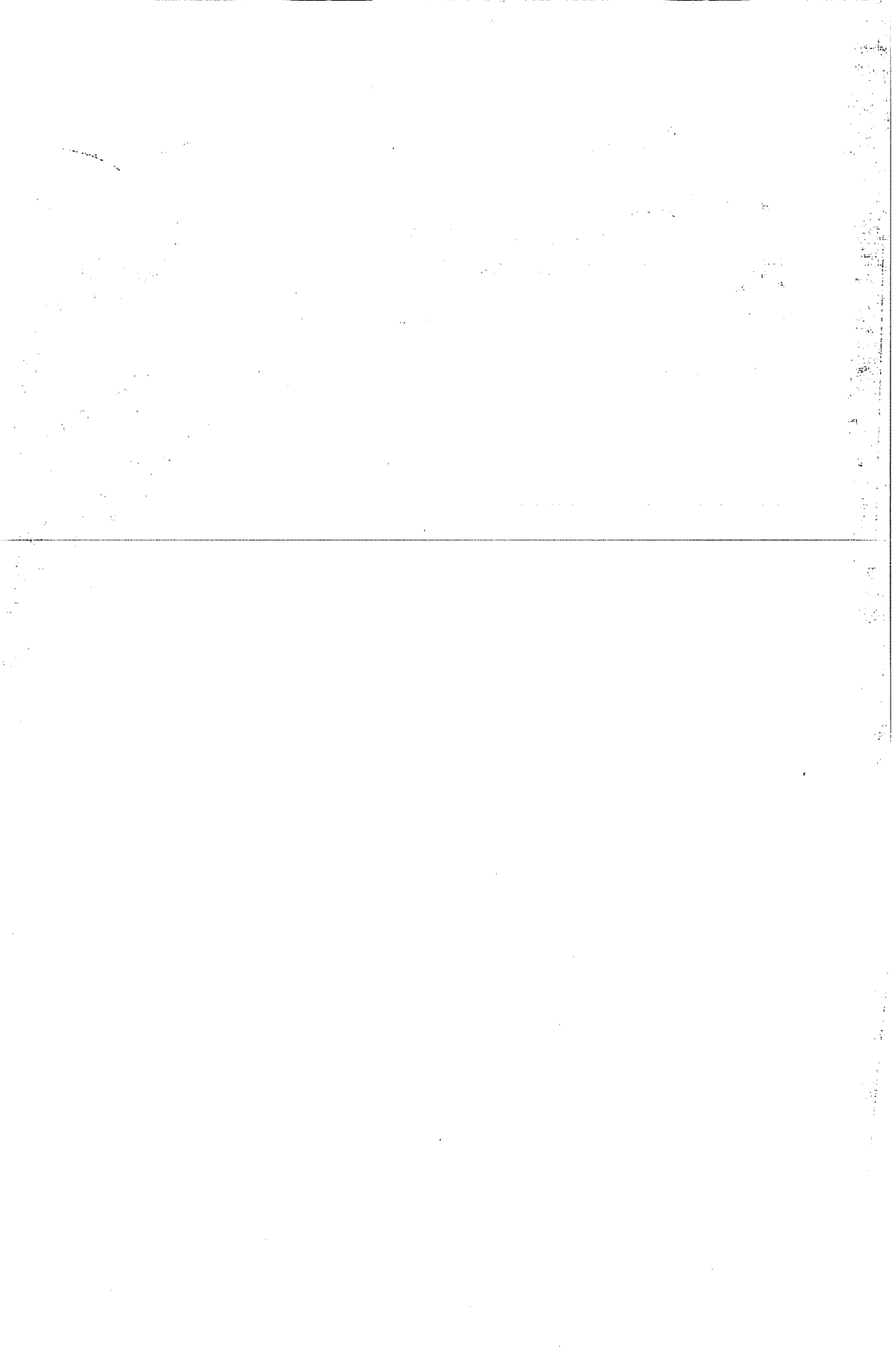
Metalurjik şart önemli olabilir. Bu tek fazlı malzemelerde tane boyutu, çok fazla malzemelerde ise faz boyutu ve dağılımı ile ilgilidir. Cr₂O₃ kabuk oluşturan alaşımlarda tane boyutu önemlidir. Küçük tane boyutları koruyucu oksit tabakasının gelişmesini arttırır. Oksijenin içeri doğru hızla transportundan dolaşan yüzeyin hemen altında alaşımın tane sınırları boyuna Cr₂O₃ gelişir.

Bazı alaşımların düşük oksijen aktiviteli atmosferlerde daha iyi oksitasyon davranışı

göstereceği beklenir, zira koruyucu dış oksit kabuğun oluşumu daha kolaydır. Bununla beraber pratikte durum bundan çok daha karmaşıktır. Koruyucu oksit kabuğun yana doğru büyümesi yavaş olabilir. Sistemdeki küçük miktarda bulunan reaktif elementler oksitlenebilir. Oksijen veya diğer oksitleniciler, koruyucu kabuk tamamlanmadan önce alaşım tane sınırlarına yayılabilirler ve reaktif elementleri oksitlerler.

4. KAYNAKLAR

1. Hansen, M., "Constitution of Binary Alloys", Mc Grav-Hill, Inc., New York (1958).
2. Kubachewski, O. and Hopkins, B.E., "Oxidation Of Metals and Alloys" Butterworths, London (1967).
3. Von, J.A., Fraunhofer and G.A. Pickup, Reviews on High Temperature Materials, 1 (4) 399 (1973).
4. Pilling, N.B., and Bedworth, R.E., J. Ins. Met., 29, 529 (1923).
5. Göncel, O.T., Ph.D tezi Liverpool Üniversitesi, Liverpool (1978).
6. Wagner, C., Z. Phys. Chem, 21, 25 (1933).
7. Göncel, O.T., Doçentlik Tezi, Çukurova Üniversitesi (1983).
8. Kubachewski, O. and Evans, E., Metallurgical Thermochemistry, 3 rd. Ed., Pergamon Press Ltd., London (1958).
9. Giggins, C.S. ve Pettit, F.S., Met. Trans., 2, 1071 (1971).
10. Kofstad, P., "High Temperature oxidation of Metals", Wiley, New York (1966).
11. Hauffe, K., "Oxidation of Metals" Plenum Press, New York (1965).
12. Wood, G.C., and Whittle, D.P., Corr. Sci., 4, 263 (1964).
13. Wood, G.C., and Whittle, D.P., Corr. Sci., 7, 763 (1967).
14. Howes, V.R., Corr. Sci., 8, 221 (1968).



ROBOTIC ARC WELDING WITH ADAPTIVE CONTROL

Zafer DÜLGER and Erdinç KALUÇ

Yıldız University, Kocaeli Faculty of Engineering, Kocaeli / Türkiye

ABSTRACT: *Adaptive welding control in robotic arc welding process is discussed. Joint tracking techniques mostly utilized in robotic arc welding systems are presented. Two most widely used techniques, optical and through-the-arc sensing, are covered. General structure of a robotic arc welding unit and its components are also studied.*

UYGULAMA KONTROLLÜ ROBOTİK ARK KAYNAĞI

ÖZET: *Robotla yapılan kaynak işlemlerinde kullanılan adaptif kaynak kontrol yöntemleri incelenmiştir. Robotla kaynak işleminde kullanılan kaynak dikişi takip tekniklerinden en çok uygulama alanı bulan iki tanesi, optik ve ark kontrolü, sunulmuştur. Robotla kaynak sisteminin genel yapısı ve sistemi oluşturan elemanlara değinilmiştir.*

1. INTRODUCTION

Arc welding is the most widely used metal joining technique and one of the largest job categories together with assembly and machining in the fabrication of metal structures (1). In the present time, majority of the welding tasks are done by manual means. However, the harsh conditions encountered during the welding processes, like intense heat and fumes, the requirement for repeatable and consistent welding and the need for improved productivity, lower costs with high quality demand for a better and more efficient way of welding. These demands yielded the utilization of robotic technology in the field of arc welding.

Robot Industry Association (RIA) defines an industrial robot as " a programmable multifunctional manipulator designed to move material parts, tools or specialized devices, through variable programmed motions for performance of a variety of tasks" (2).

An industrial robot is a means of imitating the dexterity and capability of a human in a more efficient way. The robot's imitation of the human arm has to be backed up by the capability of imitating the human brain and eye, which calls for the implementation of adaptive control systems in robotic arc welding applications. Adaptive control systems mainly comprise joint searching and joint tracking techniques (3,4).

In this paper, current joint tracking technologies are discussed together with a look into the hardware of robotic arc welding processes. The major methods of joint tracking in robotic arc welding are presented: optical techniques and through-the-arc joint tracking technique.

2. ROBOTIC ARC WELDING EQUIPMENT

Robot arm constitutes the most important element of a robotic arc welding unit. As name implies, the robot arm holds the welding gun and may house joint tracking system depending on the configuration of the sensor technique employed. The robot arm enables the welding torch to extend and reach the welding environment.

The robot's ability to place a tool or to work on a piece in any orientation at a point in space is bounded by its structural configuration. The points in space within the reach of robot's arm define the work envelope of the robot. Translational movement (right/left, forward/backward, up/down) and rotational movement (pitch, roll, yaw) of arm allows the robot to position and adjust the orientation of a tool to achieve the required welding task (Figure 1) (5).

With the elimination of one of the rotation axes (the yaw motion) some robots have only five axes. Five-axis robots have been used many applications and they are proven to be reducing costs. They generally work best in less demanding welding processes of easily accessible parts. Six-axis robots are flexible and dexterous with high initial cost. Sixth axis is generally used to handle large parts, entry angle problems and to rotate the welding gun.

A manipulator generally accompanies the robot to position the parts suitably for welding. Missing sixth axis of a five-axis robot can be compensated by using a manipulator (positioner) or flexibility and dexterity of a six-axis robot can be increased.

Robot arm structures can be classified based on the order of translations and rotations performed to reach a position as shown in figure 2 (5).

The cylindrical co-ordinate robots are not favored for welding applications, though they are suitable to carry heavy loads, because other arm structure have better ability to reach into hard-to-reach areas.

The spherical co-ordinate robots are used mostly for spot welding and material handling while combining load carrying capacity and flexibility of access.

The rectangular co-ordinate robot is suitable for high precision positioning with very large work envelope.

The revolute are co-ordinate robots have large work envelopes with minimum floor space requirements and are most commonly used in arc welding as well as in spot welding.

SCARA (Selection Compliance Assembly Robot Arm) has found application in assembly operations with limited applications in arc welding.

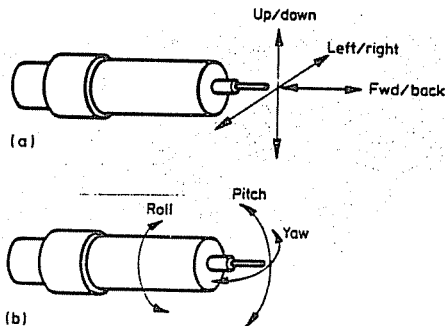


Figure 1. Translational (a) and Rotational (b) Movement of a Robot Arm

The robot needs some additional equipment to constitute a robotic arc welding unit and to execute arc welding process. Components of a robotic arc welding unit are shown in Figure 3.

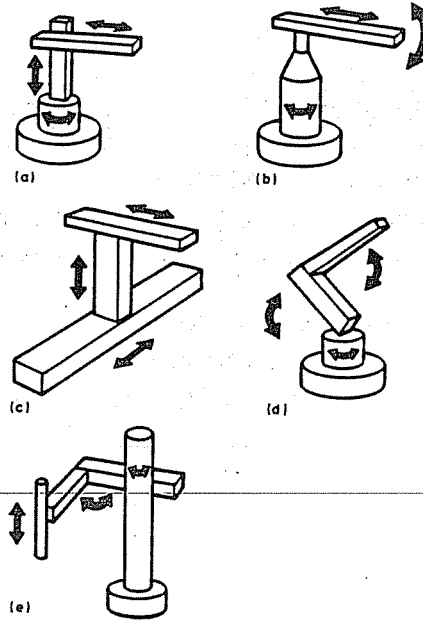


Figure 2. Robot Arm Structures a) Cylindrical b) Spherical c) Cartesian d) Revolute e) SCARA type

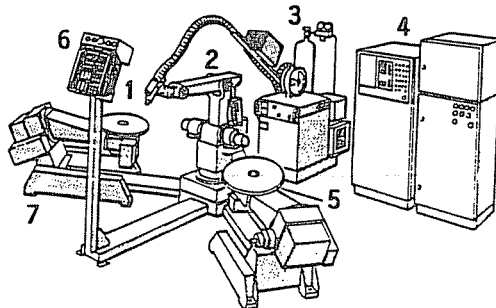


Figure 3. Components of a Robotic Arc Welding Unit 1) Welding gun 2) Robot arm 3) Welding power source, wire feeder and gas supply 4) Robot control cabinet 5) Nozzle cleaning equipment 6) Operator control station 7) Manipulator

Being one of the components, the welding gun is attached to the robot arm and may require additional equipment for cooling.

Gas Metal Arc Welding (GMAW) requires a welding gun accompanied by a cooling system to help withstand high duty welding tasks. At low currents welding guns may be

cooled by air. However at high currents for high duty welding tasks, water should be used for cooling welding gun nozzle and contact tip to extend gun life and reduce spatter build-up. The welding gun has to be removed for maintenance periodically. A tool changing device installed on the robot eases the removal and replacement of the gun.

Wire feeder supplies the wire to the welding torch. Power source, shielding gas and nozzle cleaning unit are among the other components that make up a robotic arc welding unit.

3. ADAPTIVE CONTROL OF ROBOTIC ARC WELDING SYSTEMS

During the welding processes, heat input from the arc to the workpiece to bend and alteration of weld path occurs. Also, the misalignment and tolerances of workpieces introduce uncertainties about the position and orientation of seams to be welded. Correction or compensation of these deviations are required in order to achieve the desired welding task. Specialized instrumentation receives feedback information from the welding environment and provides corrective actions to the robotic system about joint location and welding variables, which outlines the operation principles for joint tracking systems.

The first joint tracking systems were operating on a two-pass basis. In the first pass, the sensor unit passed over the entire joint and stored the joint position data in memory. The welding torch was disabled during this first pass. In the second pass, welding was performed in accordance with the joint position stored in memory. This initial method led to the evolution of the single-pass joint tracking systems which help fulfill the need for real-time adaptive control of the welding torch along the welding seam.

Today's prevalent single-pass joint tracking systems are classified into two major categories: optical and through-the-arc (4,6). Each method is discussed briefly below.

3.1 OPTICAL JOINT TRACKING SYSTEMS

Optical joint tracking systems implement solid state camera and light source (or laser) combinations to generate information about the joint to be welded.

Optical techniques are generally used with thin metals (0.8-3.0 mm thickness) although being easily applicable to materials of any thickness.

In Oblique Illumination Method, a light source generates oblique illumination and provides a stripe of shadow depending on the geometry of the workpiece. A detector, generally a TV camera, receives the pattern of stripe and deduces the path the welding torch should follow. Optical triangulation mathematics is used to calculate the dimensional co-ordinates of each point on the stripe to deduce the welding path. A schematic diagrams of Oblique Illumination Method is shown in Figure 4.

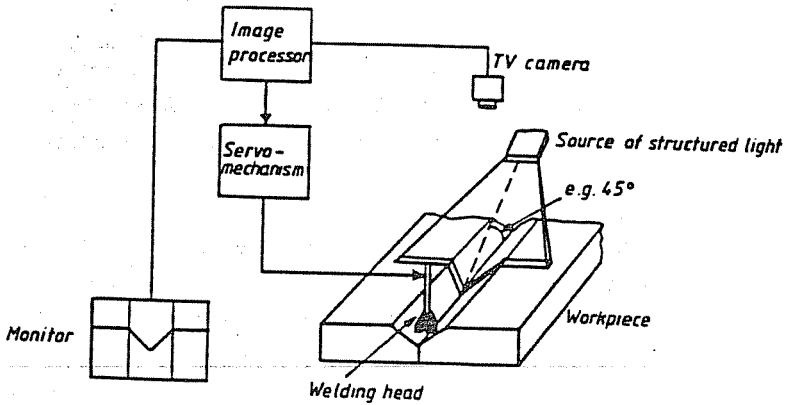


Figure 4. Oblique Illumination Method

This Meta Torch Joint searching and tracking system houses the sensing and welding equipment together in one unit. Meta Torch System is used in MIG welding of thin sheet material of thickness 0.8-3.2 mm. A laser mounted in the gun generates a layer of light and directs it on to the workpiece. The reflected pattern is received by a camera in the torch and analyzed by a computer. The image of the stripe generated in the computer supplies the information about the orientation of the workpieces and the welding environment. In Figure 5, a schematic diagram of Meta Torch System is shown (4). An application of Meta Torch System is given in Figure 6. Two perpendicular plates with a gap in between are to be welded. Laser generated light sheet intersects with the two plates, thus generating a stripe image (Figure 6-a). The analysis of the resulting image (Figure 6-b) by computer yields gap and welding path information for the welding torch (3).

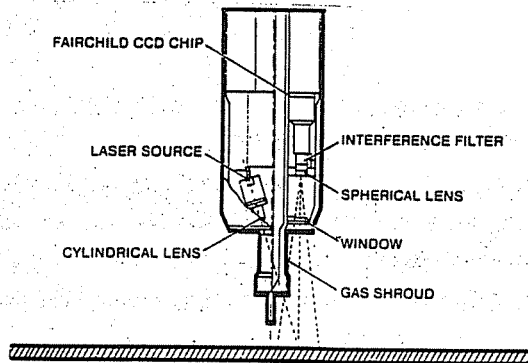


Figure 5. Meta Torch System

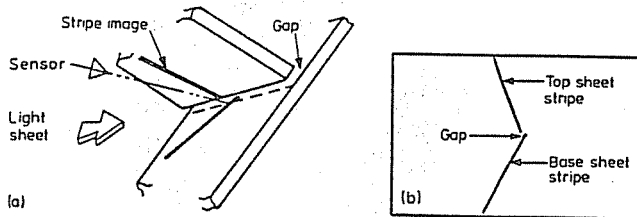


Figure 6. Welding of Two Perpendicular Plates with Meta Torch System a) Generating Stripe Image b) Analysis of the Image.

However, since optical joint tracking systems are expensive, the problems associated with interfacing vision system with welding robot controller and disturbance of arc illumination on optical sensors, their utilization in robotic arc welding has not found wide acceptance. Another method working equally well at lower costs, through-the-arc, has been introduced.

3.2 THROUGH-THE-ARC JOINT TRACKING SYSTEM

Through-the-Arc sensing is most widely accepted joint tracking system. In this technique, torch oscillates while acting as a sensor to gather variations in arc voltage and welding current which occur when the arc length changes as the torch moves within the V joint. These current changes occur due to the changes in arc length determined by distance between the surface of the weldment and the tip of the welding electrode. The welding torch oscillates at 1.5-5 Hz. The recorded fluctuations in welding current are compared by computer and adjustments are made to center the oscillating torch in the joint. A schematic diagram of this type of tracking method is shown in Figure 7. The principle of through-the-arc sensing is shown in Figure 8 (3).

To maintain a constant arc length, arc voltage determined by the welding electrode extension is compared with a pre-stored reference value and if there is a difference between stored and sensed voltage values the torch position is adjusted to keep the arc length constant. The combination of torch height and arc current profile control provides a reliable way of keeping the welding torch in the center of the joint with proper arc length.

4. CONCLUSIONS

Robotics technology has a very promising future in the field of arc welding. Although the currently available technologies are far from being able to create an overall perfect

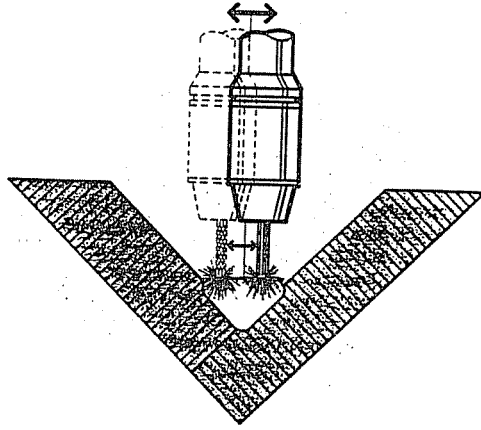


Figure 7. Through-The-Arc Joint Tracking Method

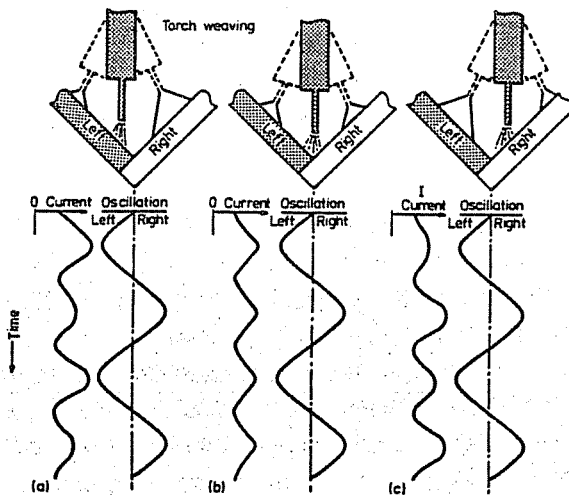
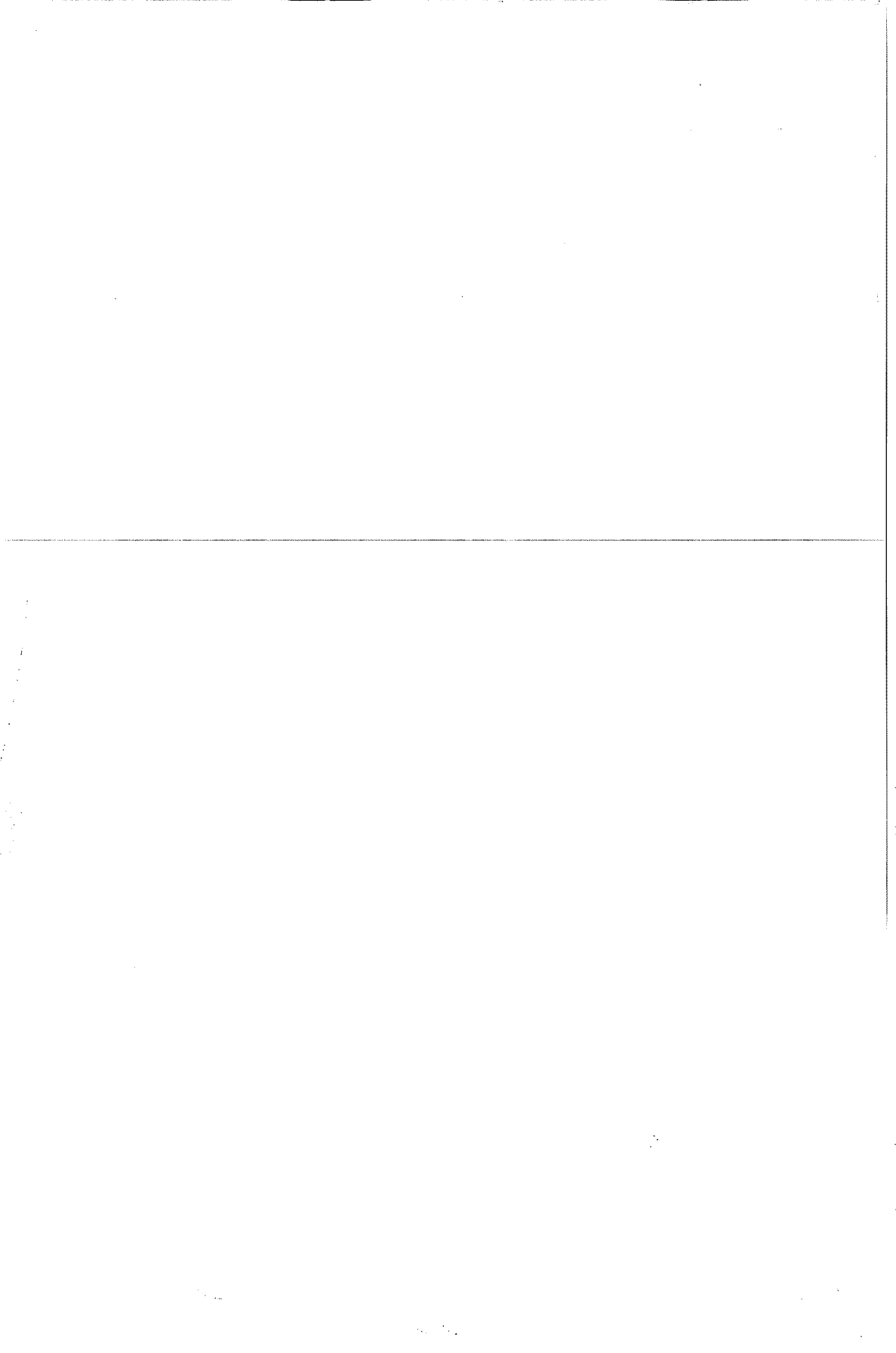


Figure 8. Principle of Through-The-Arc Method a) Leftward b) Correct Path c) Rightward Deviation

robotic arc welding unit, it is very likely that in the future most of the arc welding tasks will be performed by robotic means. As the sensor technologies develop, new combinations of sensor and robot system will be offered for application in arc welding tasks.

5. REFERENCES

1. Cook, G.E., "Robotic Arc Welding: Research in Sensory Feedback Control", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 30, no. 30, pp. 252-268, August 1983.
2. Richardson, R.W., "Robotic Weld Joint Tracking Systems-Theory and Implementation Methods", *Welding Journal*, Vol. 65, no. 11, pp. 43-51, November 1986.
3. Kennedy, N.A., "Robotic for the Welding Engineer-Joint Finding, Tracking and Control", *The Welding Institute Research Bulletin*, pp. 15-19, August 1986.
4. Hanright, J., "Robotic Arc Welding Under Adaptive Control-A Survey of Current Technology", *Welding Journal*, Vol. 65, no. 11, pp. 19-24, November 1986.
5. Kennedy, N.A., "Robotics for the Welding Engineer-Introduction", *The Welding Institute Research Bulletin*, R286/7/85, pp. 221-226, July 1985.
6. Miller, C., "Guidelines to Gain Self-Sufficiency in Robotic Welding", *Welding Journal*, pp. 41-45, November 1988.



**EĞİK EĞİLME VE EKSENEL YÜK ALTINDA GELİŞİGÜZEL
GEOMETRİYE SAHİP BETONARME ELEMANLARIN
TAŞIMA GÜCÜ HESABI**

Cengiz DÜNDAR ve Bülent ŞAHİN

Çukurova Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Adana / Türkiye

Çukurova Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana / Türkiye

ÖZET : *Çalışmada, eğik eğilme ve eksenel yüke maruz gelişigüzel geometriye sahip betonarme elemanların taşıma gücü analizi ele alınmıştır. Analiz, Amerikan ve Türk Standartları ACI ve TS-500'e göre yapılmaktadır. Sunulan metodda, tarafsız eksenin yerini belirleyen iki bilinmeyen cinsinden yazılan iki lineer olmayan denge denklemi, Newton-Raphson metodu ile çözülmektedir.*

**ULTIMATE STRENGTH ANALYSIS OF ARBITRARILY SHAPED
REINFORCED CONCRETE MEMBERS UNDER
BIAXIAL BENDING AND AXIAL LOAD**

ABSTRACT : *This subject presents an approach to ultimate strength analysis of arbitrarily shaped reinforced concrete sections subject to biaxial bending and axial compression. The analysis is performed in accordance with the American Concrete Institute (ACI) Code and Turkish Code TS-500. In the proposed method, the equilibrium equations are expressed in terms of the two unknowns, e.g., location of neutral axis, which lead to two simultaneous nonlinear algebraic equations which are solved by a procedure based on the Newton-Raphson method.*

1. GİRİŞ

Eğik eğilme ve eksenel yüke maruz gelişigüzel geometriye sahip elemanlar, çok katlı binalarda ve köprü ayaklarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tür elemanlar, yüksek binaların yatay yüklere karşı dayanımı önemli ölçüde artırırlar. Ayrıca bu elemanların kullanımı binayı oluşturan kolon boyutlarının daha küçük seçilebilmesine imkan verdiği için yapı maliyetinde ekonomi de sağlamaktadır. Ne var ki bu elemanların taşıma gücü analizi, dikdörtgen kesitli ve üniform yayılı donatıya sahip elemanlara göre çok daha karmaşık ve zahmetli olmaktadır.

Eğik eğilme ve eksenel yük altındaki betonarme kesitlerin taşıma gücü analizine yönelik çalışmalar 1950'li yıllara dayanmaktadır [1]. Bu çalışmalarda ele alınan kesitler, düzgün geometriye sahip dikdörtgen veya kare şeklinde kesitler idi. Son yıllarda bu konu ile ilgili çalışmaların sayısı artış göstererek değişik geometriye sahip betonarme elemanların eğik eğilme ve eksenel yük taşıma gücü analizini yapan bazı metodlar geliştirilmiştir [2-3].

Bu çalışmada, gelişigüzel geometriye sahip (L, U, T, V, v.b.) elemanların eğik eğilme ve eksenel yük altında taşıma gücü analizi ele alınmıştır.

2. PROBLEMİN FORMÜLASYONU

Önerilen taşıma gücü probleminin formülasyonunda kullanılan varsayımlar aşağıdaki gibidir:

- i. Şekil değiştirmeden önce düzlem olan kesitler, şekil değiştirmeden sonra düzlem kalırlar.
- ii. Betonun çekme dayanımı ihmal edilmektedir.
- iii. Beton ile donatı arasında tam aderans vardır.
- iv. Yumuşak ve sert tip olmak üzere iki tür donatı çeliğine ait gerilme-deformasyon ilişkisi kullanılabilir.
- v. Taşıma gücüne erişildiğinde basınç bölgesinin tarafsız eksene en uzak noktasındaki birim kısalma 0.003 ve basınç bölgesindeki gerilme dağılımı, TS-500'de tanımlanan dikdörtgen gerilme bloğu şeklindedir.

2.1 Malzeme Özellikleri

Yumuşak tip olarak tanımlanan donatı çeliğinin elasto-plastik davranışa sahip olup gerilme-deformasyon ilişkileri,

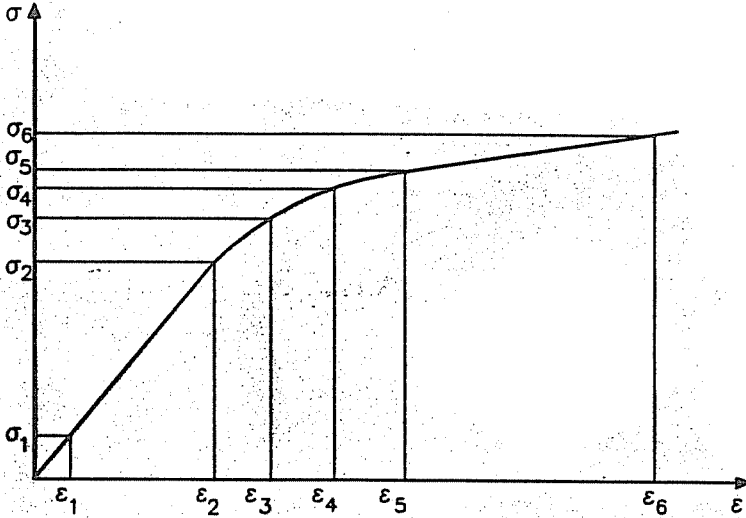
$$|\epsilon_s| < \epsilon_y \Rightarrow \sigma_s = E_s \epsilon_s \quad (1)$$

$$|\epsilon_s| \geq \epsilon_y \Rightarrow \sigma_s = \frac{\epsilon_s}{\epsilon_y} f_y \quad (2)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Burada, σ_s ve ϵ_s donatı çeliğinin gerilme ve birim şekil

değiştirme değerleri, f_y ve E_s ise akma gerilmesi ve elastisite modülüdür.

Sert tip donatı çeliği kullanılması halinde ise çeliğin $\sigma-\epsilon$ eğrisi 6 nokta ile verilmektedir. Verilen 6 nokta Şekil 1'de gösterilen üç bölgeyi tanımlamalıdır. $\sigma-\epsilon$ değerlerinden $\epsilon_1-\epsilon_2$ birinci lineer bölgeyi, $\epsilon_2-\epsilon_5$ lineer olmayan bölgeyi, $\epsilon_5-\epsilon_6$ ise ikinci lineer bölgeyi belirlemektedir. $\sigma-\epsilon$ eğrisi hesaplarda kullanılırken ϵ_s 'in ara değerleri için Lagrange interpolasyonu yöntemi ile donatı gerilmeleri hesaplanmaktadır.



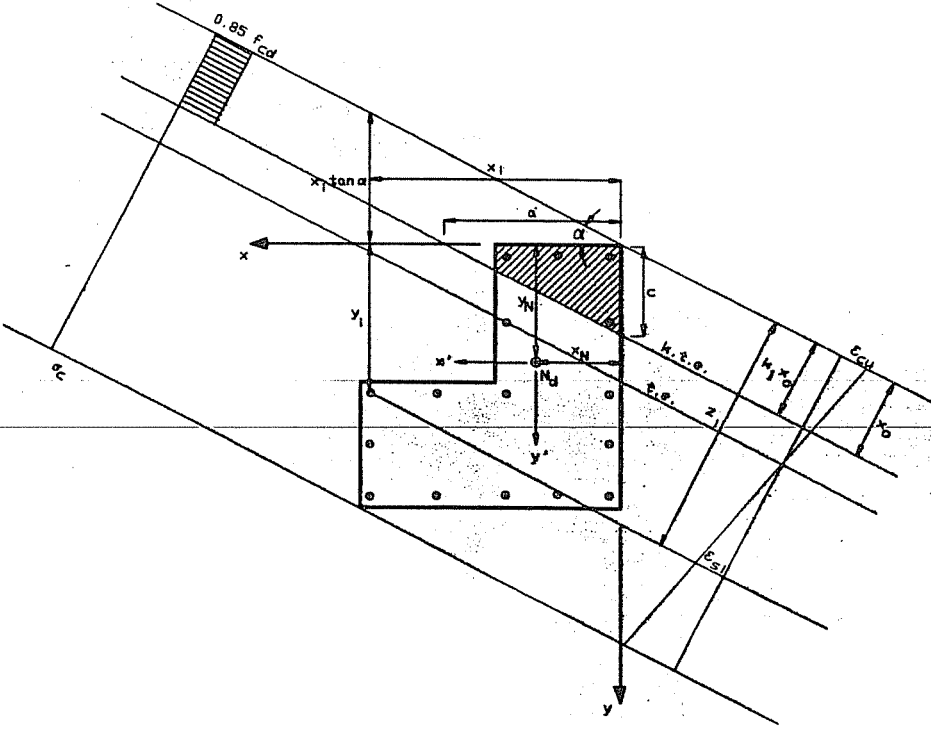
Şekil.1

2.2 Donatı Çeliği Birim Şekil Değiştirmelerinin Hesabı

Dikdörtgen dışı geometriye sahip betonarme bir kesit x-y koordinat sisteminde Şekil 2'de gösterilmektedir. Kesite etki eden eğik eksantrisiteli normal kuvvetin (N_D) x-y eksen takımına göre koordinatları x_N ve y_N olarak tanımlanmaktadır.

Beton ve çelik arasında tam aderans olduğu ve eğilmeden önce düzlem olan kesitlerin eğilmeden sonra da düzlem kaldığı varsayımları gözönüne alınırsa kesitin sözkonusu zorlamadan dolayı birim deformasyon dağılımı, en çok zorlanan noktada ϵ_{cu} olmak üzere eğik oluşan tarafsız eksene göre lineer orantılı olarak belirlenebilmektedir. Böylece kesit basınç bölgesinde olduğu varsayılan eşdeğer dikdörtgen gerilme bloğunu sınırlayan kaydırılmış tarafsız eksenin konumu Şekil 2'den görüleceği gibi a ve c gibi iki parametre ile tanımlanırsa kesitin x-y eksen takımına göre herhangi bir noktasındaki birim şekil değiştirme bu parametrelere bağlı olarak aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

Önce benzer üçgenlerden yararlanılarak en çok zorlanan life z_i mesafesindeki birim şekil değiştirme,



Şekil.2

$$\epsilon_{si} = \epsilon_{cu} \left(\frac{z_i}{x_0} - 1 \right) \quad (3)$$

yazılır. Burada z_i mesafesi x-y eksen takımına göre ifade edilirse,

$$z_i = (y_i + x_i \tan \alpha) \cos \alpha \quad (4)$$

$$\tan \alpha = \frac{c}{a}; \quad \cos \alpha = \frac{k_1 x_0}{c} \quad (5)$$

olduğu gözönüne alınır ve (4) - (5) denklemleri (3) de yerine yazılırsa kesit içerisinde x_i ve y_i koordinatları ile tanımlanan herhangi bir noktadaki birim şekil değiştirme,

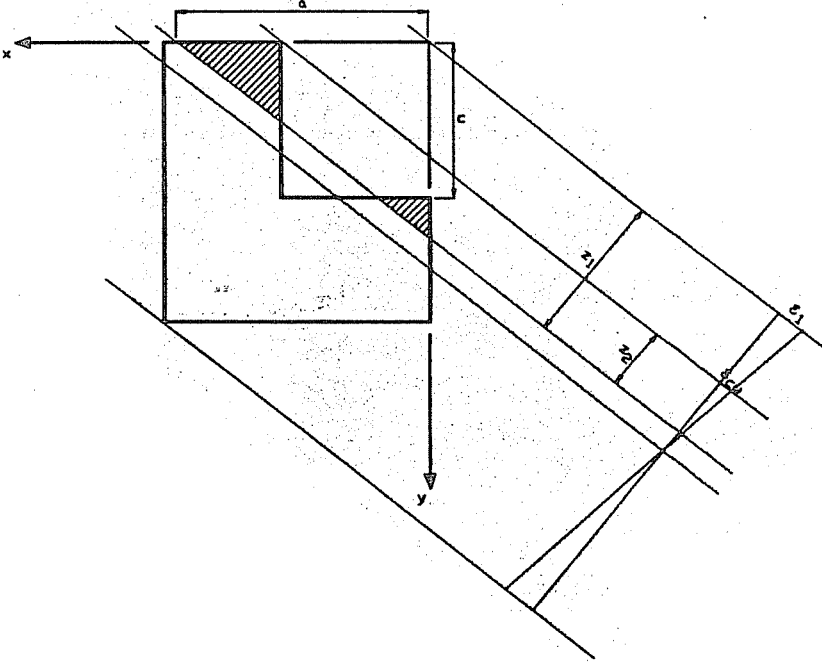
$$\epsilon_{si} = \epsilon_{cu} \left[k_1 \left(\frac{y_i}{c} + \frac{x_i}{a} \right) - 1 \right] \quad (6)$$

GELİŞGÜZEL GEOMETRİYE SAHİP BETONARME ELEMANLARIN TAŞIMA GÜCÜ

olarak elde edilir.

x-y koordinat sisteminin en çok zorlanan köşede seçilememesi durumunda (Şekil 3) koordinat merkezinde fiktif şekil değiştirme,

$$\epsilon_1 = \frac{z_1}{z_2} \epsilon_{cu} \quad (7)$$



Şekil.3

olarak ele alınırsa (6) denklemini,

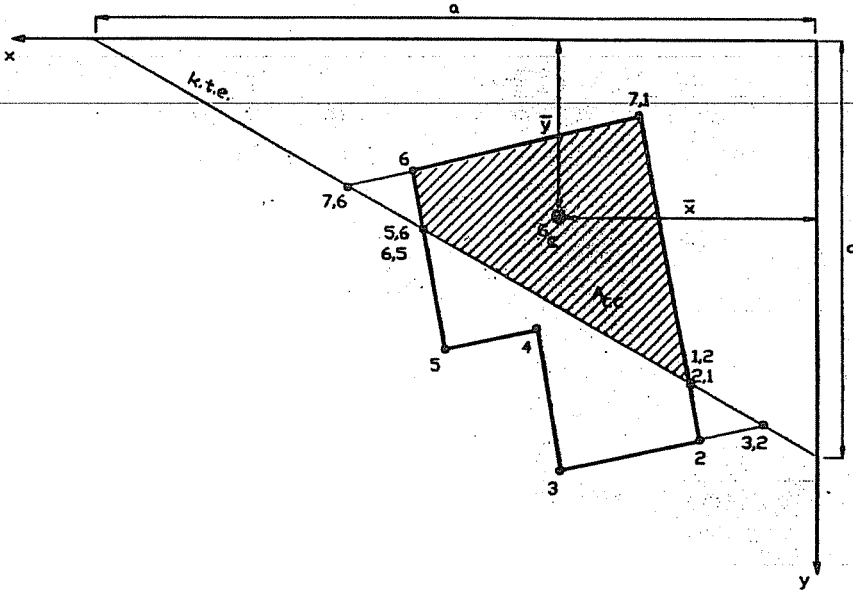
$$\epsilon_{si} = \epsilon_1 \left[k_1 \left(\frac{y_i}{c} + \frac{x_i}{a} \right) - 1 \right] \quad (8)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada z_1 x-y koordinat merkezinin, z_2 ise en çok zorlanan noktanın kaydırılmış tarafsız eksene olan dik mesafeleridir. Böylece taşıma gücü sınır durumunda en çok zorlanan köşedeki ezilme birim kılınmasının ϵ_{cu} değerine eşit olma şartı sağlanmış olmaktadır.

2.3 Beton Basınç Bölgesinin Geometrik Özelliklerinin Belirlenmesi

Beton basınç bölgesinde oluşan basınç kuvvetinin değeri ve yerinin elde edilebilmesi için eşdeğer dikdörtgen gerilme bloğunun derinliğini sınırlayan kaydırılmış tarafsız eksen üzerinde kalan beton basınç bölgesinin alanının ve ağırlık merkezinin koordinatlarının hesaplanması gerekmektedir.

Şekil 4'de x-y eksen takımında poligonal geometriye sahip bir kesit gözönüne alınmıştır. Burada kaydırılmış tarafsız eksenin konumu ve geometrik özellikleri hesaplanacak beton basınç bölgesi -taralı olarak gösterilmiştir.



Şekil.4

Önce poligon kesit arzu edilen bir yönde 1,2,3, ..., i-1, i, i+1, ..., n şeklinde numaralanır. Şekil 4'de verilen örnekte n, 6'dır. Birinci adımda kaydırılmış tarafsız eksenin kesit kenarlarını kestiği noktaların koordinatları bulunur. Daha sonra, taralı alan üzerinde bulunan poligon noktası ile komşu poligon noktasını birleştiren doğrunun kaydırılmış tarafsız eksenini kestiği noktalar belirlenir. Böylece taralı poligon alanı, bu noktalar ile poligon noktalarının oluşturduğu üçgenlerin toplamı şeklinde ifade edilir.

Yukarıdaki bölümlerde tarafsız eksenin konumunun a ve c gibi iki parametreye bağlı olarak belirlenebildiği gösterilmiş idi. Kesim noktalarının koordinatlarını veren ifadeler, kaydırılmış tarafsız eksenin konumuna bağlı olarak şöyle hesaplanır:

i, i+1'nci noktadan geçen doğrunun kaydırılmış tarafsız eksenini kestiği noktanın

koordinatları,

$$x_{i,i+1} = \frac{c - y_i + \delta_{i,i+1}x_i}{\frac{c}{a} + \delta_{i,i+1}} \quad (9)$$

$$y_{i,i+1} = c \left(1 - \frac{x_{i,i+1}}{a} \right) \quad (10)$$

ifadelerinden elde edilir. Burada,

$$\delta_{i,i+1} = \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} \quad (11)$$

şeklinde tanımlanmaktadır.

Benzer şekilde, i-1 ve i'nci noktadan geçen doğrunun kaydırılmış tarafsız eksen ile kesişim noktası koordinatları, (9), (10) ve (11) ifadelerinde 'i,i+1' indisi yerine 'i-1,i' ve 'i+1' indisi yerine de 'i-1' yazılarak elde edilmektedir.

Bu ön hazırlıktan sonra artık taralı poligonun alanı ve ağırlık merkezinin koordinatlarının hesabına geçilebilir. Poligonun alanı, bu alanı oluşturan üçgenlerden (i-1) (i) (i+1) noktalarının tanımladığı üçgen A_i ile gösterilecek olur ise,

$$A_{cc} = \left| \sum_i A_i \right| \quad (12)$$

olarak hesaplanır. Burada,

$$A_i = 1/2 [x_i (y_{i-1,i} - y_{i,i+1}) + x_{i,i+1} (y_i - y_{i-1,i}) + x_{i-1,i} (y_{i,i+1} - y_i)] \quad (13)$$

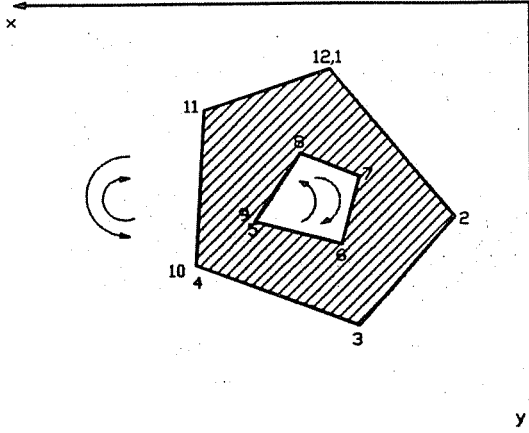
olarak verilmektedir. Eğer poligon noktası kaydırılmış tarafsız eksenin altında ise $A_i = 0$ alınmaktadır. Bundan sonra taralı alanın x-y eksen takımına göre ağırlık merkezinin koordinatları

$$\bar{x} = \frac{1}{3 \sum_i A_i} \sum_i [A_i (x_i + x_{i,i+1} + x_{i-1,i})] \quad (14)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{3 \sum_i A_i} \sum_i [A_i (y_i + y_{i,i+1} + y_{i-1,i})] \quad (15)$$

olarak hesaplanabilmektedir.

Poligon noktaları numaralanırken dönüş yolu için belirli bir sınırlama getirilmemiştir. Ancak boşluklu kesitlerde boşluk içerisindeki dönüş yolu ile kesit dışındaki dönüş yönleri birbirlerine zıt olmalıdır (Şekil 5).



Şekil.5

2.4 Denge Denklemleri

2.4.1 Kesit Taşıma Gücü Normal Kuvveti

Kesite eğik eksantrisiteli olarak etki eden normal kuvvetin etkidiği noktanın x-y eksen takımına göre koordinatları x_N ve y_N olarak Şekil 2'de gösterilmiş idi. Moment denge denklemleri, sırası ile bu nokta orijin olacak şekilde seçilen ve x-y eksen takımına paralel bir eksen takımına ($x'-y'$) göre yazılacaktır:

$$f_1 = \sum_i^n (y_i - y_N) A_{si} \sigma_{si} - 0.85 f_{cd} (\bar{y} - y_N) A_{cc} = 0 \quad (16)$$

$$f_2 = \sum_i^n (x_i - x_N) A_{si} \sigma_{si} - 0.85 f_{cd} (\bar{x} - x_N) A_{cc} = 0 \quad (17)$$

olarak yazılır. Bu denklemlerde n toplam donatı sayısını, x_i ve y_i i donatı çubuğunun x-y eksen takımına göre koordinatlarını, σ_{si} i donatı çubuğundaki gerilmeyi, A_{si} i donatı çubuğunun kesit alanını tanımlamaktadır. Denklemlerde beton basınç bölgesinin katkısını temsil eden terimlerde yer alan f_{cd} , beton silindir hesap basınç dayanımını, A_{cc} beton basınç bölgesi alanını, x ve y bu alanın x-y eksen takımına göre ağırlık merkezinin koordinatlarını göstermektedir.

Elde edilen denklemlerin köklerinin bulunmasından sonra,

$$N_u = 0.85 f_{cd} A_{cc} - \sum_i^n A_{si} \sigma_{si} \quad (18)$$

ifadesi ile taşıma gücü normal kuvveti elde edilmiş olur.

2.4.2 Kesit Taşıma Gücü Momenti

Kesite iki eksenli olarak M_x ve M_y momentlerinin etkimesi durumunda x-y eksen takımına göre θ açısı yapan M_u moment vektörüne dik ve paralel olan eksen takımına göre yazılır ise sırası ile moment ve normal kuvvet denge denklemleri,

$$f_1 = \sum_i^n y_i A_{si} \sigma_{si} \sin\theta - \sum_i^n x_i A_{si} \sigma_{si} \cos\theta - (\bar{y} \sin\theta - \bar{x} \cos\theta) 0.85 f_{cd} A_{cc} = 0 \quad (19)$$

$$f_2 = \sum_i^n A_{si} \sigma_{si} - 0.85 f_{cd} A_{cc} = 0 \quad (20)$$

şeklinde olur. Bu ifadelerde,

$$\tan \theta = \frac{M_y}{M_x} \quad (21)$$

olup diğer notasyon bir önceki bölüm ile aynıdır.

Elde edilen bu denklem takımının çözümünden sonra taşıma gücü momenti,

$$M_u = \sum_i^n y_i A_{si} \sigma_{si} \cos\theta + \sum_i^n x_i A_{si} \sigma_{si} \sin\theta - (\bar{y} \cos\theta + \bar{x} \sin\theta) 0.85 f_{cd} A_{cc} \quad (22)$$

eşitliği ile elde edilir.

(6), (12), (14) ve (15) ifadeleri (16), (17) veya (19), (20) denge denklemlerinde yerlerine yazılacak olursa kesit içinde donatı yayılışı belli ise a ve c değişkenleri için,

$$\begin{aligned} f_1(a, c) &= 0 \\ f_2(a, c) &= 0 \end{aligned} \quad (23)$$

ve matris formunda,

$$[f]([x]) = [0] \quad (24)$$

doğrusal olmayan denklem takımı elde edilir. (24) denkleminde $[x]=[a, c]^t$; $[f]=[f_1, f_2]^t$ dir. Burada t, matrisin transpozunu göstermektedir. Doğrusal olmayan (24) denklem takımının çözümü Newton-Raphson ardışık yaklaşım yöntemi ile sayısal olarak bulunacaktır. (24) denkleminin köklerinin bulunmasında kullanılan formül,

$$[x]_{i+1} = [x]_i - [\Delta x]_i \quad (i = 0, 1, \dots) \quad (25)$$

olup burada $[\Delta x]_i$,

$$[A]_i [\Delta x]_i = [f]_i \quad (26)$$

denkleminin çözümüdür. (26) denkleminde yer alan $[A]_i$ i'nci iterasyondaki Jacobean matrisi olup sonlu farklar cinsinden kısmi türevler olarak,

$$[A]_i = \frac{\delta [f]([x]_i)}{\delta [x]} \quad (27)$$

$[f]_i$ ise,

$$[f]_i = [f([x]_i)] \quad (28)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Burada i indisi i'nci iterasyondaki değerleri göstermektedir.

3. SONUÇ

Bu çalışmada eğik eğilme ve eksenel yük altında gelişigüzel geometriye sahip betonarme elemanların taşıma gücü analizi ele alınmıştır. Sunulan metodda kaydırılmış tarafsız eksenin yeri, x-y koordinat sisteminde, orijine olan mesafeleri gösteren a ve c parametreleri cinsinden tanımlanmaktadır ve başlangıç değerleri olarak verilmesi gerekmektedir.

Donatı çeliğinde yumuşak çelik için elasto-plastik davranış, sert çelik için verilen $\sigma-\epsilon$ ilişkisi esas alınmakta ve gerektiğinde ara değerler için Lagrange interpolasyon yöntemi kullanılmaktadır. Elde edilen doğrusal olmayan denklem takımlarının çözümü Newton-Raphson yöntemi ile yapılmaktadır.

Sunulan metod, ayrıca programlamaya uygun olması nedeni ile bir bilgisayar programı haline de getirilmiştir. Bu konu [10] nolu kaynakta incelenmektedir.

4. KAYNAKLAR

1. Au, Tung., "Ultimate Strength Design of Rectangular Concrete Members Subject to Unsymmetrical Bending", *ACI J.*, 54/36, 657-674, 1958.
2. Brondum-Nielsen, T., "Ultimate Flexural Capacity of Cracked Polygonal Concrete Sections Under Biaxial Bending", *ACI J.*, 82/6, 863-869, 1985.
3. Brondum-Nielsen, T., "Ultimate Flexural Capacity of Fully Prestressed, Partially Prestressed, Arbitrary Concrete Sections Under Symmetric Bending", *ACI J.*, 83/1, 29-35, 1986.
4. Hsu, C.T., "Biaxially Loaded L-Shaped Reinforced Concrete Columns", *J. Struct. Engrg.*, ASCE, 111/12, 2576-2598, 1985.
5. Hsu, C.T., "Channel-Shaped Reinforced Concrete Compression Members Under Biaxial Bending", *ACI J.*, 84/21, 201-211, 1987.
6. Hsu, C.T., "T-Shaped Reinforced Concrete Members Under Biaxial Bending and Axial Compression", *ACI J.*, 86/43, 460-468, 1989.
7. Dündar, C., "Concrete Box Sections Under Biaxial Bending and Axial Load", *J. Struct. Engrg.*, ASCE, 116/3, 860-865, 1990.
8. Magalhaes, M.P., "Biaxially Loaded Concrete Sections", *J. Struct. Engrg.*, 105/12, 2639-2656, 1979.
9. *Building Code Requirements for Reinforced Concrete*, ACI 318-71, American Concrete Institute, Detroit, Mich., 1974.
10. Dündar, C. ve Şahin, B., "Eğik Eğilme ve Eksenel Yük Altında Gelişigüzel Geometriye Sahip Betonarme Elemanların Taşıma Gücü Hesabına Yönelik Bir Bilgisayar Programı", *Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 1992.

EĞİK EĞİLME VE EKSENEL YÜK ALTINDA GELİŞİGÜZEL GEOMETRİYE SAHİP BETONARME ELEMANLARIN TAŞIMA GÜCÜ HESABINA YÖNELİK BİR BİLGİSAYAR PROGRAMI

Cengiz DÜNDAR ve Bülent ŞAHİN

Çukurova Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Adana / Türkiye
Çukurova Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana / Türkiye

ÖZET: Taşıma gücü analizi, dikdörtgen kesitli ve uniform yayılı donatıya sahip elemanlara göre daha karmaşık ve zahmetli olan eğik eğilme ve eksenel yüke maruz gelişigüzel geometriye sahip betonarme elemanlar, özellikle çok katlı binalarda ve köprü ayaklarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, gelişigüzel geometriye sahip betonarme elemanların eğik eğilme ve eksenel yük altında taşıma gücü analizini "Eğik Eğilme ve Eksenel Yük Altında Gelişigüzel Geometriye Sahip Betonarme Elemanların Taşıma Gücü Hesabı" isimli makalede (1) ele alınan yöntemle göre hızlı olarak yapabildiği bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Çalışmanın sonunda, yöntemin adımlarını vermek amacıyla literatürde mevcut bir örnek geliştirilen program ile çözülmüş ve programın tam listesi verilmiştir.

A COMPUTER PROGRAM FOR ULTIMATE STRENGTH ANALYSIS OF ARBITRARILY SHAPED REINFORCED CONCRETE MEMBERS UNDER BIAXIAL BENDING AND AXIAL LOAD

ABSTRACT: Arbitrarily shaped reinforced concrete members subjected to biaxial bending and axial load whose ultimate strength analysis is more complex and tedious than rectangular shaped members with uniformly distributed reinforcement are frequently used especially in multi-storey tall buildings and bridge piers. In this study, a computer program has been developed for rapid ultimate strength analysis of arbitrarily shaped reinforced concrete members subjected to combined biaxial bending and axial load, according to the article named "Ultimate Strength Analysis of Arbitrarily Shaped Reinforced Concrete Members Under Biaxial Bending and Axial Load" (1). One analysis problem, available in the literature is solved by this program to provide possible method procedures and full listing of the program is given at the end of study.

1. GİRİŞ

Geliştirilmiş olan bilgisayar programının dayandığı kabuller ve problemin formülasyonu, yukarıda adı geçen kaynakta (1) anlatılmıştır.

Hazırlanan bilgisayar programı, QuickBASIC^(R) program dili kullanılarak yapısal bir formda kodlanmıştır ve uygun bir derleyici ile tüm IBM^(R) uyumlu PCjr^(R) ve PC/AT^(R) tipi bilgisayarlarda kullanılabilir.

Programa veri girişi herhangi bir kelime işlemci yazılımı ile hazırlanabilen data dosyası ile yapılmaktadır. Data dosyası, data bloklarından oluşmakta ve bu blokların öncelik sıralaması istenilen şekilde olabilmektedir. Ayrıca data dosyasında olabilecek muhtemel bir bariz hata, program tarafından anında belirlenebilmektedir.

Bilgisayar programı, çizim olanağı ile de zenginleştirilmiştir. Verilen kesit, hesaplanan kaydırılmış tarafsız eksenin yeri ve donatılar ile birlikte programın herhangi bir adımında grafik olarak gösterilebilmektedir.

Programın çalıştırılması sonucu elde edilen sonuçlar, ekranda listelendiği gibi aynı zamanda bir çıktı dosyası haline de getirilmektedir.

2. BİLGİSAYAR PROGRAMININ YAPISI

QuickBASIC^(R) dilinde kodlanmış bilgisayar programında kullanılan iterasyon algoritması aşağıda özetlenmektedir:

- i. Başlangıç $[x] = [a, c, A_{st}]^t$ değerlerini seç.
- ii. $i = 0$ al.
- iii. Türev matrisi $[A]_i$ 'yi teşkil et.
- iv. $[f]_i = [f_1, f_2, f_3]^t$ vektörünü hesapla.
- v. $[A]_i \cdot [\Delta x]_i = [f]_i$ den $[\Delta x]_i$ 'i çöz.
- vi. Bir sonraki iterasyonda kullanılacak $[x]$ değerlerini $[x]_{i+1} = [x]_i - [\Delta x]_i$ 'den hesapla.
- vii. Yakınsamayı kontrol et: $||[\Delta x]_i|| <? \in$
- viii. Yakınsıyor ise sonuçları yaz ve dur.
- ix. Yakınsamıyor ise $i = i + 1$ olarak adım iii'e gidip iterasyon işlemine devam et.

Burada verilen algoritmanın ilk adımında kaydırılmış tarafsız eksenin yerini belirleyen a ve c parametreleri ile kesit içerisindeki toplam donatı alanının başlangıç değerleri olarak verilmesi gerekmektedir. Donatı alanı için yönetmeliklerce belirlenen minimum değerden (0.01 Ac) başlamanın -yapılan çok sayıda örnekten- uygun olduğu sonucuna varılmıştır. a ve c değerlerinin tahmininde ise başlangıç olarak geometrik kesitin birbirini kesen dik kenarlarının boyutları olarak verilmesinin yine uygun olduğu, çözüme ulaşmadaki iterasyon sayısının az oluşundan anlaşılmıştır. Eğer bir iraksama durumu ortaya çıkar ise program, iterasyon işlemi durdurmakta ve kullanıcının a ve c için yeni başlangıç değerleri seçmesini istemektedir.

Yapılan çok sayıda örnek, burada anlatılan algoritma ile yakınsama hızının yüksek olduğunu, birçok problemde 6-7 iterasyonda sonuca ulaşıldığını göstermiştir.

Hazırlanan Bilgisayar programı 6 bölümden oluşmaktadır. Bunlar:

1. Ana Program
2. "Reads" → Data dosyasının okunması
3. "Plot" → Grafik çizim
4. "Area" → Beton basınç bölgesi alan ve ağırlık merkezi koordinatlarının hesabı
5. "Prep" → Birim şekil değiştirmeler, donatı çeliği gerilmeleri ve f fonksiyon değerlerinin hesabı
6. "Gnrt" → Verilen datanın üretim işlemleri

olup bu bölümler, gerektiğinde ana program tarafından çağrılarak işleme devam edilmektedir.

3. VERİ HAZIRLAMA KILAVUZU

Programa veri girişi veri dosyası yardımı ile yapılmaktadır. Veri dosyası, herhangi bir kelime işlemci yazılımı kullanılarak hazırlanabilmektedir.

Veri dosyası, data bloğu adı verilen bölümlerden oluşmaktadır. Her bir data bloğu, blok isim satırı ile başlayıp ':' işaret ile sona ermektedir:

Data blok ismi

...
...
...
:

Data blokları için veri dosyasında, 'Donatılar' isimli data bloğu hariç olmak üzere, bir öncelik sıralaması zorunluluğu yoktur. Yani data blokları istenilen bir sıralamada oluşturulabilmektedir. Yukarıda da sözü edildiği gibi bir istisna olarak 'Donatılar' data bloğu, 'Poligon Koordinatları' isimli data bloğunu takip etmektedir.

Data bloklarına benzer şekilde veri dosyası da, veri dosyası tanımlama satırı ile başlayıp 'Data Sonu' satırı ile sona ermektedir:

Veri dosyası tanımlama satırı

... data bloğu
... data bloğu

... data bloğu

Data Sonu

Sayısal veri girişi, data blokları içerisinde ve aşağıdaki şekilde yapılmaktadır. Örneğin x için 1.8 değerini tanımlayalım:

$$x = 1.8$$

Yukarıdaki tanımlama ifadesi data bloğu içerisinde herhangi bir yerde olabilmektedir.

Veri dosyası hazırlanırken kullanılacak olan harfler için büyük veya küçük harf olmak zorunluluğunun da bulunmadığını belirttikten sonra ayrıntılı olarak data bloklarına geçebiliriz:

Veri dosyası üç adet data bloğundan oluşmaktadır. Bunlar:

1. Genel bilgiler
2. Poligon koordinatları
3. Donatılar

1. Genel Bilgiler

'Genel Bilgiler' data bloğu şu bilgileri içermektedir:

- k1** : Dikdörtgen dağılım için beton basınç bloğu derinliğinin tarafsız eksen derinliğine oranı (k_1).
- Epsc** : Betondaki en büyük birim boy değişimi (ϵ_{cu}).
- fc** : Hesapta kullanılacak beton basınç dayanımı (f_{cd}).
- fy** : Hesapta kullanılacak çelik akma dayanımı (f_{yd}).
- Es** : Çelik elastisite modülü (E_s).
- Nd** : Hesapta kullanılacak eksenel kuvvet (N_d).
- xN** : Nd eksenel kuvvetinin x koordinatı (x_N).
- yN** : Nd eksenel kuvvetinin y koordinatı (y_N).
- Mx** : x doğrultusunda eğilme momenti (M_x).
- My** : y doğrultusunda eğilme momenti (M_y).
- ao** : Kaydırılmış tarafsız eksenin x eksenini kestiği nokta için verilen başlangıç değeri (a_o).
- co** : Kaydırılmış tarafsız eksenin y eksenini kestiği nokta için verilen başlangıç değeri (c_o).

Eps (1), Eps(2), Eps(3), Eps(4), Eps(5), Eps(6) : Sert tip çelik için tanımlanan birim şekil değiştirmeler ($\epsilon_1, \dots, \epsilon_6$).

z(1), z(2), z(3), z(4), z(5), z(6) : Sert tip çelik için tanımlanan gerilmeler ($\sigma_1, \dots, \sigma_6$).

Yukarıdaki bu bilgiler, data bloğu içerisinde herhangi bir yerde olabilmekte, ayrıca

gerekmeliklerinde M_x , M_y , ϵ ve σ veya N_d , x_N ve y_N verilmeyebilmektedir.

Genel Bilgiler

k1 = ... Epsc =
...
ao = ... co =
Eps(1) = .. z(1) = ...
...
:

2. Poligon Koordinatları

Bu data bloğu, poligonal kesitin her bir köşe koordinatlarını içeren satırlardan oluşmaktadır. Her satır,

- p : Poligonal kesit köşe numarası
- x : Köşenin x-y eksen takımına göre x koordinatı
- y : Köşenin x-y eksen takımına göre y koordinatı

bilgilerini içermektedir. Burada dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta, her satırdaki P değerlerinin sayısal olarak sıralı olmasıdır. Yani bir sonraki satırın P değeri bir öncekinin P değerini takip etmelidir. x veya y değerlerinden herhangi birisi bir önceki satırdaki değer ile aynı ise bu satırda o değer tekrar verilmesine gerek yoktur. Bir başka deyişle, eğer o satırda x veya y verilmemiş ise bu verilmeyen değer, bir önceki satırdaki değere eşit olarak alınacaktır. Doğal olarak, bloğun ilk satırında bu özellik geçerli olmayıp her ikisi de verilmek zorundadır. Bu bilgilere ek olarak, P, x ve y değerleri o satır içerisinde sıralama olmaksızın istenilen bir yerde olabilmektedir.

Poligon Koordinatları

P=1 x = 0.5 y = 6.147
P=2 x = 2.651
...
...
:

3. Donatılar

'Donatılar' data bloğu, üretimsiz ve üretimli olarak iki türlü data satırından oluşabilmektedir:

i. Üretimsiz data satırı

Bu tür data satırı, her satırda bir donatı bilgisi olacak şekilde düzenlenmiştir. Her bir satır,

- R** : Donatı numarası
x : Donatının x-y eksen takımına göre x koordinatı
y : Donatının x-y eksen takımına göre y koordinatı

Tipy=1 veya Tips=1 : Yumuşak tip donatı çeliği için 'tipy=1' sert tip donatı çeliği için 'tips=1'.

Epspo : Öngerilme çeliğindeki birim şekil değiştirme (ϵ_{po}).

A veya D : A, donatının kesit alanı; D, donatının çapı bilgilerini içermekte olup bu değerler o satır içerisinde herhangi bir yerde olabilmekte ve satırlar arasında donatı numarası sıralaması zorunluluğu bulunmamaktadır.

ii. Üretimli data satırı

Üretimli data satırında verilecek olan bilgiler, üretimsiz data satırındakiyle aynıdır. Fakat bu tür data satırında uygun bölümler için data üretme imkanı getirilmiştir. Data satırında üretimsiz data satırından farklı olarak 'R' yerine

R1: Üretilecek donatıların başlangıç numarası

R2: Üretilecek donatıların son numarası

'x' ve 'y' yerine,

x1: Üretilecek donatıların ilkinin x koordinatı

y1: Üretilecek donatıların ilkinin y koordinatı

x2: Üretilecek donatıların sonuncusunun x koordinatı

y2: Üretilecek donatıların sonuncusunun y koordinatı

değerleri yer almaktadır. Epspo, tipy=1 veya tips=1, A veya D için üretimsiz data satırında anlatılanlar burada da aynen geçerlidir. Üretim için verilen donatıların başlangıç ve son koordinatları aynen, aradaki donatılar için ise eşit aralıklı olarak alınmaktadır. Koordinatların dışındaki değerler ise üretilen tüm donatılar için eşit olmaktadır. Yine, satır içindeki değerlerin yerleri için bir kısıtlama sözkonusu değildir.

'Donatılar' data bloğunda da daha öncekilerde olduğu gibi değişkenlerin bir önceki satırdaki değerlerine eşit olmaları durumunda tekrar belirtilmelerine gerek bulunmamaktadır. Ancak üretimsiz data satırında 'R', üretimli data satırında ise 'R1', 'R2', 'x1', 'x2', 'y1' ve 'y2' bunun dışındadır.

Donatılar

R=1 x=17.75 y=2.25 A=1116E-6 Epspo=0.0056 Tipy=1

R=2 y=8.8 D=0.016

...

R1=6 R2=10 x1=1 y1=2 x2=97.4 y2=2 Tips=1

...

4. ÖRNEK PROBLEM

[2] nolu kaynakta çözülen eğik eğilmeye maruz boşluklu kutu kesit ele alınmıştır. Hazırlanan veri dosyası, program çıktısı ve kesit aşağıda verilmiştir:

Veri Dosyası

KUTU KESİT (Dünder ASCE Mart 90)

Genel Bilgiler

K1=.85 Epscu=.003 fyd=414 fcd=23.46

Es=200.000 yn=.05 xn=.1776

ao=.40 co=.3

Poligon Koordinatları

P=1 x=0 y=0

P=2 y=.6096

P=3 x=.6096

P=4 x=.4826 y=0.4826

P=5 x=.127

P=6 Y=.127

P=7 x=.4826

P=8 y=.4826

P=9 x=.6096 y=.6096

P=10 y=0

Donatılar

R=1 X=.0610 Y=.0610 Tipy=1 A=2.6144e-4

R=2 X=.5486 Y=.0610

R=3 X=.5486 Y=.5486

R=4 X=.0610 Y=.5486

R=5 X=.1585 Y=.0610

R=6	X=.2560	
R=7	X=.3536	
R=8	X=.4511	
R=9	X=.1585	Y=.5486
R=10	X=.2560	
R=11	X=.3536	
R=12	X=.4511	
R=13	X=.0610	Y=.2235
R=14	X=.5486	Y=.3861
R=15	X=.5486	Y=.3861

Data Sonu

Program Çıktısı

KUTU KESİT (Dünder, ASCE Mart 90)

GENEL BİLGİLER

$kI = .85$	$\epsilon_{cu} = .003$	$f_{cd} = 23.46$	$f_{yd} = 414$
$E_s = 200000$	$\epsilon_y = .002070$		
$\eta_n = .05$	$\chi_n = .1776$		
$\omega = .4$	$\rho = .3$		

POLİGON KOORDİNATLARI

P = 1	X = 0.000	Y = 0.000
P = 2	X = 0.000	Y = 0.610
P = 3	X = 0.610	Y = 0.610
P = 4	X = 0.483	Y = 0.483
P = 5	X = 0.127	Y = 0.483
P = 6	X = 0.127	Y = 0.127
P = 7	X = 0.483	Y = 0.127
P = 8	X = 0.483	Y = 0.483
P = 9	X = 0.610	Y = 0.610
P = 10	X = 0.610	Y = 0.000

DONATILAR

Ry = 1	X = 0.061	Y = 0.061	A = 0.000261
Ry = 2	X = 0.549	Y = 0.061	A = 0.000261
Ry = 3	X = 0.549	Y = 0.549	A = 0.000261

TAŞIMA GÜCÜ HESABINA YÖNELİK BİR BİLGİSAYAR PROGRAMI

Ry = 4	X = 0.061	Y = 0.549	A = 0.000261
Ry = 5	X = 0.159	Y = 0.061	A = 0.000261
Ry = 6	X = 0.256	Y = 0.061	A = 0.000261
Ry = 7	X = 0.354	Y = 0.061	A = 0.000261
Ry = 8	X = 0.451	Y = 0.061	A = 0.000261
Ry = 9	X = 0.159	Y = 0.549	A = 0.000261
Ry = 10	X = 0.256	Y = 0.549	A = 0.000261
Ry = 11	X = 0.354	Y = 0.549	A = 0.000261
Ry = 12	X = 0.451	Y = 0.549	A = 0.000261
Ry = 13	X = 0.061	Y = 0.223	A = 0.000261
Ry = 14	X = 0.061	Y = 0.386	A = 0.000261
Ry = 15	X = 0.549	Y = 0.223	A = 0.000261
Ry = 16	X = 0.549	Y = 0.386	A = 0.000261

İTERASYON

	a = 0.400	c = 0.300
1,	a = 0.987	c = 0.687
2,	a = 0.840	c = 0.483
3,	a = 0.747	c = 0.490
4,	a = 0.754	c = 0.489
5,	a = 0.754	c = 0.489

DONATI GERİLMELERİ

R = 1	$\sigma_s = -405.088$	R = 9	$\sigma_s = 169.801$
R = 2	$\sigma_s = -75.456$	R = 10	$\sigma_s = 235.714$
R = 3	$\sigma_s = 414.000$	R = 11	$\sigma_s = 301.695$
R = 4	$\sigma_s = 103.889$	R = 12	$\sigma_s = 367.608$
R = 5	$\sigma_s = -339.175$	R = 13	$\sigma_s = -235.464$
R = 6	$\sigma_s = -273.262$	R = 14	$\sigma_s = -65.735$
R = 7	$\sigma_s = -207.282$	R = 15	$\sigma_s = 94.168$
R = 8	$\sigma_s = -141.369$	R = 16	$\sigma_s = 263.896$

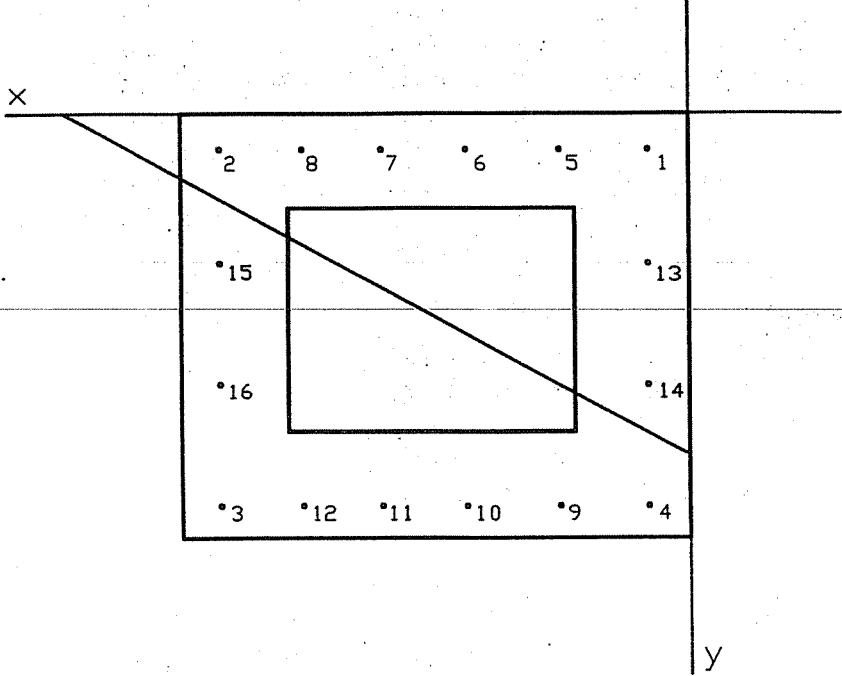
Kesit : x = 0.305 Ac = 0.245
y = 0.305

Basınç Bölgesi : a = 0.754 x = 0.223 Acc = 0.119
a = 0.489 y = 0.141

Taşıma Gücü : Nu = 2.321031

Program çıktısından görüleceği gibi 5 iterasyon sonucunda çözüme ulaşılmış ve taşıma gücü normal kuvveti 2.32 t olarak bulunmuştur. Söz konusu kaynakta eksenel kuvvet 2.54 t dur.

KUTU KESİT (Dundar, ASCE Mart 90)



Şekil 1. Örnek Kesit

KAYNAKLAR

1. Dünder, C. ve Şahin B. "Eğik Eğilme ve Eksenel Yük Altında Gelişigüzel Geometriye Sahip Betonarme Elemanların Taşıma Gücü Hesabı", Müh. Mim. Fak. Dergisi, (1992).

2. Dünder, C. "Concrete Box Sections Under Biaxial Bending and Axial load", J. Struct Engrg., ASCE, 116/3, 860-865,(1990).

PROGRAM LISTESİ

```

DEFINT I-N
DEFSTR U
DECLARE SUB Reads (U, Uoku, okun, Ls)
DECLARE SUB Plot (Ugn, UDat)
DECLARE SUB Area ( )
DECLARE SUB Prep (f1, f2, dk1, Teta, dNu, dMu, dMx, dMy)
DECLARE SUB Gnrt (U, Epspo, Itype, Ast, n, Ls)
COMMON SHARED Epscu, fyd, fcd, Eps(), z(), Es, Ac, xl, yl, yn, xn
COMMON SHARED x(), y(), Epspo(), Ast(), Sigma(), np, nd, a, c, Itype()
CONST npara = 2000, FALSE = 0, TRUE = NOT FALSE
DIM x(npara), y(npara), Epspo(npara / 2), Sigma(npara / 2), Ast(npara/2)
DIM Eps(6), z(6), Itype(npara / 2)
KEY 15, CHR$(&H0) + CHR$(&H1) 'ESC tusu
ON KEY(10) GOSUB Ciz
ON KEY(15) GOSUB Son
PRINT
IF COMMAND$ = "" THEN INPUT "Data Dosyası = ", UDat ELSE UDat = COMMAND$
OPEN UDat FOR INPUT AS 1
FOR m = 1 TO LEN(UDat)
  U = MID$(UDat, m, 1)
  IF U = "." THEN EXIT FOR
  UDos = UDos + U
NEXT m
UDat = UDos + MID$(UDat, m, 4)
UDos = UCASE$(UDos) + ".OUT"
Pi = 4 * ATN(1)
KEY(10) ON
KEY(15) ON
CLS
LINE INPUT #1, Ugn
COLOR 15
PRINT Ugn
LOCATE 25, 1
PRINT "Esc"; : COLOR 7: PRINT " Çıkış,";
COLOR 15: PRINT " F10"; : COLOR 7: PRINT " Çizim";
COLOR 15: PRINT TAB(52); "Çıktı Dosyası = "; UDos;
COLOR 7
VIEW PRINT 3 TO 23
GOSUB Format
DO
  LINE INPUT #1, Ug: Ug = UCASE$(Ug)
  IF Ug = "DATA SONU" THEN EXIT DO
  PRINT
  SELECT CASE Ug
    CASE "GENEL BİLGİLER"
      PRINT Ug
      LOCATE CSRLIN, 1: PRINT "Okunuyor..."; : LOCATE CSRLIN, 1

```

TAŞIMA GÜCÜ HESABINA YÖNELİK BİR BİLGISAYAR PROGRAMI

```

DO
LINE INPUT #1, U: IF U = ":" THEN EXIT DO
CALL Reads(U, "K1", okun, Ls): IF Ls THEN dk1 = okun
CALL Reads(U, "EPSCU", okun, Ls): IF Ls THEN Epscu = okun
CALL Reads(U, "FYD", okun, Ls): IF Ls THEN fyd = okun
CALL Reads(U, "FCD", okun, Ls): IF Ls THEN fcd = okun
CALL Reads(U, "ES", okun, Ls): IF Ls THEN Es = okun
CALL Reads(U, "YN", okun, Ls): IF Ls THEN yn = okun
CALL Reads(U, "XN", okun, Ls): IF Ls THEN xn = okun
CALL Reads(U, "MX", okun, Ls): IF Ls THEN dMx = okun
CALL Reads(U, "MY", okun, Ls): IF Ls THEN dMy = okun
CALL Reads(U, "AO", okun, Ls): IF Ls THEN ao = okun
CALL Reads(U, "CO", okun, Ls): IF Ls THEN co = okun
FOR j = 1 TO 6
    CALL Reads(U, "EPS(" + RIGHT$(STR$(j), 1) + ")", okun, Ls)
    IF Ls THEN Eps(j) = okun
    CALL Reads(U, "Z(" + RIGHT$(STR$(j), 1) + ")", okun, Ls)
    IF Ls THEN z(j) = okun
NEXT j
LOOP
PRINT "k1 ="; dk1; TAB(17); "ecu ="; Epscu; TAB(36); "fyd ="; fyd;
PRINT TAB(55); "fcd ="; fcd
PRINT "Es ="; Es
PRINT "yn ="; yn; TAB(17); "xn ="; xn
PRINT "Mx ="; dMx; TAB(17); "My ="; dMy
PRINT "ao ="; ao; TAB(17); "co ="; co
FOR j = 1 TO 6
    PRINT "Eps(" + RIGHT$(STR$(j), 1) + ") ="; Eps(j);
    PRINT TAB(36); "z(" + RIGHT$(STR$(j), 1) + ") ="; z(j)
NEXT j
CASE "POLIGON KOORDINATLARI"
PRINT Ug
DO
LINE INPUT #1, U: IF U = ":" THEN EXIT DO
CALL Reads(U, "P", okun, Ls): np = okun
IF NOT Ls THEN PRINT : PRINT "P, tanımlı değil...": GOTO Er
IF np <> i + 1 THEN
    PRINT : PRINT "P'nin sıralaması doğru değil...": GOTO Er
ELSE
    i = np
END IF
CALL Reads(U, "X", okun, Ls): x(np) = okun
IF NOT Ls THEN
    IF np = 1 THEN
        PRINT : PRINT "X, tanımlı değil...": GOTO Er
    ELSE
        x(np) = x(np - 1)
    END IF
END IF
END IF

```

```

CALL Reads(U, "Y", okun, Ls): y(np) = okun
IF NOT Ls THEN
  IF np = 1 THEN
    PRINT : PRINT "Y, tanımlı değil...": GOTO Er
  ELSE
    y(np) = y(np - 1)
  END IF
END IF
PRINT "P =" ; np;
PRINT TAB(11); "X =" ; USING U43; x(np);
PRINT TAB(28); "Y =" ; USING U43; y(np)
LOOP
CASE "DONATILAR"
PRINT Ug
LOCATE CSRLIN, 1: PRINT "Okunuyor..."; : LOCATE CSRLIN, 1
IF np = 0 THEN
  PRINT : PRINT "Önce Poligon Koordinatlarını giriniz...":GOTO Er
END IF
Itype = 1
DO
  LINE INPUT #1, U: IF U = ":" THEN EXIT DO
  CALL Reads(U, "R", okun, Ls)
  IF Ls THEN n = okun ELSE n = 0
  CALL Reads(U, "EPSPO", okun, Ls): Epspo(n) = okun
  IF NOT Ls THEN Epspo(n) = Epspo
  Epspo = Epspo(n)
  CALL Reads(U, "TIPY", okun, Ls)
  IF Ls THEN
    Itype(n) = TRUE
  ELSE
    CALL Reads(U, "TIPS", okun, Ls)
    IF Ls THEN Itype(n) = FALSE ELSE Itype(n) = Itype
  END IF
  Itype = Itype(n)
  IF Itype = 1 THEN
    PRINT : PRINT "TIPS veya TIPY, tanımlı değil...": GOTO Er
  END IF
  CALL Reads(U, "D", okun, Ls)
  IF NOT Ls THEN
    CALL Reads(U, "A", okun, Ls): Ast(n) = okun
    IF NOT Ls THEN D = Dtemp ELSE D = SQR(4*Ast(n)/Pi): Dtemp = D
  ELSE
    D = okun: Dtemp = D
  END IF
  Ast(n) = Pi * D ^ 2 / 4
  Ast = Ast(n)
  CALL Reads(U, "R1", okun, Ls)
  IF Ls THEN
    CALL Grrt(U, Epspo, Itype, Ast, n, Ls)

```

TAŞIMA GÜCÜ HESABINA YÖNELİK BİR BİLGİSAYAR PROGRAMI

```

IF NOT Ls THEN PRINT : PRINT "R1, R2'den büyük...": GOTO Er
ELSE
CALL Reads(U, "X", okun, Ls): x(np + n) = okun
IF NOT Ls THEN x(np + n) = xtemp
xtemp = x(np + n)
CALL Reads(U, "Y", okun, Ls): y(np + n) = okun
IF NOT Ls THEN y(np + n) = ytemp
ytemp = y(np + n)
END IF
IF nd < n THEN nd = n
LOOP
FOR l = 1 TO nd
PRINT "R";
IF Itype(l) THEN PRINT "y =", l; ELSE PRINT "s =", l;
PRINT TAB(11); "X =", USING U43; x(np + l);
PRINT TAB(28); "Y =", USING U43; y(np + l);
PRINT TAB(45); "εpo =", USING U16; Epspo(l);
PRINT TAB(64); "A =", USING U46; Ast(l)
NEXT l
CASE ELSE
PRINT : PRINT "'"; Ug; "' data blozu gereksiz...": GOTO Er
END SELECT
LOOP
CLOSE 1
IF nd = 0 THEN PRINT : PRINT "Donatıları giriniz...": GOTO Er
PRINT Ug: PRINT
OPEN UDos FOR OUTPUT AS 2
PRINT #2, UDos
PRINT #2,
PRINT #2, Ugn
PRINT #2,
PRINT #2, "GENEL BİLGİLER :"
PRINT #2, "k1 =", dk1; TAB(17); "ecu =", Epscu; TAB(36); "fcd =", fcd;
PRINT #2, TAB(55); "fyd =", fyd
PRINT #2, "Es =", Es; TAB(17); "εy =", USING U06; fyd / Es
PRINT #2, "yn =", yn; TAB(17); "xn =", xn
PRINT #2, "Mx =", dMx; TAB(17); "My =", dMy
PRINT #2, "ao =", ao; TAB(17); "co =", co
FOR j = 1 TO 6
PRINT #2, "Eps(" + RIGHT$(STR$(j), 1) + ") =", Eps(j);
PRINT #2, TAB(36); "z(" + RIGHT$(STR$(j), 1) + ") =", z(j)
NEXT j
PRINT #2,
fcd = .85 * fcd
zmaxx = x(1)
zmaxy = y(1)
zminx = zmaxx
zminy = zmaxy
FOR i = 1 TO np

```

```

IF zmaxx < x(i) THEN zmaxx = x(i)
IF zmaxy < y(i) THEN zmaxy = y(i)
IF zminx > x(i) THEN zminx = x(i)
IF zminy > y(i) THEN zminy = y(i)
NEXT i
FOR i = 1 TO np + nd
  x(i) = x(i) - zminx
  y(i) = y(i) - zminy
NEXT i
zmaxx = zmaxx - zminx
zmaxy = zmaxy - zminy
x(0) = x(np): y(0) = y(np)
a = zmaxx + zmaxy: a = 2 * a
c = a
CALL Area
PRINT "A:irlik Merkezi : x ="; USING U43 + " "; x1
PRINT "          y ="; USING U43; y1
PRINT
IF xn > x1 THEN 'x -Eksen Donusumu
  FOR i = 1 TO np + nd
    x(i) = zmaxx - x(i)
  NEXT i
  xn = zmaxx - xn
  dMx = -dMx
  x1 = zmaxx - x1
  x(0) = x(np)
  PRINT "x eksen takimi dönüftürüldü...": PRINT
  PRINT #2, "x eksen takimi dönüftürüldü...": PRINT #2,
END IF
IF yn > y1 THEN 'y -Eksen Donusumu
  FOR i = 1 TO np + nd
    y(i) = zmaxy - y(i)
  NEXT i
  yn = zmaxy - yn
  dMy = -dMy
  y1 = zmaxy - y1
  y(0) = y(np)
  PRINT "y eksen takimi dönüftürüldü...": PRINT
  PRINT #2, "y eksen takimi dönüftürüldü...": PRINT #2,
END IF
PRINT #2, "POLYAGON KOORDYNA TLARI : "
FOR i = 1 TO np
  PRINT #2, "P ="; i;
  PRINT #2, TAB(11); "X ="; USING U43; x(i);
  PRINT #2, TAB(28); "Y ="; USING U43; y(i)
NEXT i
PRINT #2,
PRINT #2, "DONATILAR : "
FOR i = 1 TO nd

```

TAŞIMA GÜCÜ HESABINA YÖNELİK BİR BİLGİSAYAR PROGRAMI

```

PRINT #2, "R";
IF Itype(i) THEN PRINT #2, "y ="; i; ELSE PRINT #2, "s ="; i;
PRINT #2, TAB(11); "X ="; USING U43; x(np + i);
PRINT #2, TAB(28); "Y ="; USING U43; y(np + i);
PRINT #2, TAB(45); "εpo ="; USING U16; Epspo(i);
PRINT #2, TAB(64); "A ="; USING U46; Ast(i)
NEXT i
PRINT #2,
PRINT "Devam için bir tufa basınız..."
WHILE INKEY$ = ""
WEND
LOCATE CSRLIN - 1, 1
IF dMx <> 0 AND dMy <> 0 THEN Teta = ATN(dMy / dMx)
Actemp = Ac
xltemp = xl
yltemp = yl
'
' Newton-Raphson
' Iterasyon basliyor...
'
a = ao: c = co
PRINT TAB(12); "a ="; USING U53; a;
PRINT TAB(31); "c ="; USING U53; c
PRINT #2, "YTERASYON : "
PRINT #2, TAB(12); "a ="; USING U53; a;
PRINT #2, TAB(31); "c ="; USING U53; c
dela = .001: delc = .001
atemp = a
ctemp = c
CALL Prep(f1, f2, dkl, Teta, dNu, dMu, dMx, dMy)
rf1 = f1: rf2 = f2
atmp = a + dela
ctmp = c + delc
DO
  Iter = Iter + 1
  PRINT Iter; ", ";
  PRINT #2, Iter; ", ";
  IF dMx = 0 AND dMy = 0 THEN tmp = dNu ELSE tmp = dMu
  a = atmp
  c = ctmp
  CALL Prep(f1, f2, dkl, Teta, dNu, dMu, dMx, dMy)
  df1a = (f1 - rf1) / dela
  df2a = (f2 - rf2) / dela
  a = atemp
  c = ctmp
  CALL Prep(f1, f2, dkl, Teta, dNu, dMu, dMx, dMy)
  df1c = (f1 - rf1) / delc
  df2c = (f2 - rf2) / delc
  Di = df1a * df2c - df1c * df2a

```



```

a = a - (rf1 * df2c - rf2 * df1c) / Di
c = c - (rf2 * df1a - rf1 * df2a) / Di
PRINT TAB(12); "a ="; USING U53; a;
PRINT TAB(31); "c ="; USING U53; c
PRINT #2, TAB(12); "a ="; USING U53; a;
PRINT #2, TAB(31); "c ="; USING U53; c
atemp = a
ctemp = c
atmp = a + dela
ctmp = c + delc
CALL Prep(f1, f2, dk1, Teta, dNu, dMu, dMx, dMy)
rf1 = f1; rf2 = f2
IF dMx = 0 AND dMy = 0 THEN temp = dNu ELSE temp = dMu
LOOP UNTIL ABS((tmp - temp) / tmp) < .001
PRINT #2,
PRINT #2, "DONATI GERÖLMELERÖ : "
ii = INT(nd / 2 + .5)
FOR i = 1 TO ii
PRINT #2, "R ="; i; TAB(13); "os ="; USING U73; Sigma(i);
IF i + ii > nd THEN
PRINT #2,
ELSE
PRINT #2, TAB(43); "R ="; i + ii;
PRINT #2, TAB(49); "os ="; USING U73; Sigma(i + ii)
END IF
NEXT i
PRINT
PRINT "Kesit : x ="; USING U43 + " "; xltemp;
PRINT "Ac ="; USING U73; Actemp
PRINT " y ="; USING U43; yltemp
PRINT
PRINT "Basınç Bölgesi : a ="; USING U53 + " "; a;
PRINT "x ="; USING U43 + " "; xl;
PRINT "Acc ="; USING U73; Ac
PRINT " c ="; USING U53 + " "; c;
PRINT "y ="; USING U43; yl
PRINT
PRINT "Tafılma Gücü :",
IF dMx = 0 AND dMy = 0 THEN
PRINT "Nu ="; USING U46; dNu
ELSE
PRINT "Mu ="; USING U46; dMu
END IF
PRINT #2,
PRINT #2, "Kesit : x ="; USING U43 + " "; xltemp;
PRINT #2, "Ac ="; USING U73; Actemp
PRINT #2, " y ="; USING U43; yltemp
PRINT #2,
PRINT #2, "Basınç Bölgesi : a ="; USING U53 + " "; a;

```

TAŞIMA GÜCÜ HESABINA YÖNELİK BİR BİLGİSAYAR PROGRAMI

```

PRINT #2, "x ="; USING U43 + "          "; x1;
PRINT #2, "Acc ="; USING U73; Ac
PRINT #2, "          c ="; USING U53 + "          "; c;
PRINT #2, "y ="; USING U43; y1
PRINT #2,
PRINT #2, "Taşıma Gücü :",
IF dMx = 0 AND dMy = 0 THEN
    PRINT #2, "Nu ="; USING U46; dNu
ELSE
    PRINT #2, "Mu ="; USING U46; dMu
END IF
PRINT
PRINT "Bir tufa basınız..."
WHILE INKEY$ = ""
WEND
GOSUB Son
Er:
BEEP: PRINT : PRINT "HATALI DATA !"
Son:
CLOSE
END
Ciz:
Lin = CSRLIN
CALL Plot(Ugn, UDat)
VIEW PRINT 3 TO 23
LOCATE Lin, 1
RETURN
Format:
U43 = "####.###"
U53 = "#####.###"
U16 = " #.#####"
U46 = "#####.#####"
U06 = " .#####"
U73 = "#####.###"
RETURN

SUB Area
Begin:
    Ac = 0: x1 = 0: y1 = 0
    FOR k = 1 TO np
        IF k = np THEN
            xt = x(1)
            yt = y(1)
        ELSE
            xt = x(k + 1)
            yt = y(k + 1)
        END IF
        IF xt = x(k) THEN
            xp = x(k)

```

```

ELSE
  dLamdap = (yt - y(k)) / (xt - x(k))
  IF c / a + dLamdap = 0 THEN c = c + c / 100: GOTO Begin
  xp = (c - y(k) + dLamdap * x(k)) / (c / a + dLamdap)
END IF
yp = c * (1 - xp / a)
IF x(k - 1) = x(k) THEN
  xm = x(k)
ELSE
  dLamdam = (y(k - 1) - y(k)) / (x(k - 1) - x(k))
  IF c / a + dLamdam = 0 THEN a = a + a / 100: GOTO Begin
  xm = (c - y(k) + dLamdam * x(k)) / (c / a + dLamdam)
END IF
ym = c * (1 - xm / a)
sA = 0
IF y(k) <= c * (a - x(k)) / a THEN
  sA = (x(k) * (ym - yp) + xp * (y(k) - ym) + xm * (yp - y(k))) / 2
END IF
Ac = Ac + sA
x1 = x1 + sA * (x(k) + xp + xm)
y1 = y1 + sA * (y(k) + yp + ym)
NEXT k
IF Ac <> 0 THEN
  x1 = x1 / 3 / Ac
  y1 = y1 / 3 / Ac
END IF
Ac = ABS(Ac)
END SUB

SUB Gnr (U, Epspo, Itype, Ast, n, Ls)
CALL Reads(U, "R1", okun, Ls)
nd1 = okun
CALL Reads(U, "R2", okun, Ls): IF NOT Ls THEN EXIT SUB
nd2 = okun: IF nd2 < nd1 THEN Ls = FALSE: EXIT SUB
CALL Reads(U, "X1", okun, Ls): IF NOT Ls THEN EXIT SUB
x(np + nd1) = okun
CALL Reads(U, "Y1", okun, Ls): IF NOT Ls THEN EXIT SUB
y(np + nd1) = okun
CALL Reads(U, "X2", okun, Ls): IF NOT Ls THEN EXIT SUB
x(np + nd2) = okun
CALL Reads(U, "Y2", okun, Ls): IF NOT Ls THEN EXIT SUB
y(np + nd2) = okun
xa = (x(np + nd2) - x(np + nd1)) / (nd2 - nd1)
ya = (y(np + nd2) - y(np + nd1)) / (nd2 - nd1)
Epspo(nd1) = Epspo
Itype(nd1) = Itype
Ast(nd1) = Ast
FOR l = nd1 + 1 TO nd2
  x(np + l) = x(np + l - 1) + xa

```

TAŞIMA GÜCÜ HESABINA YÖNELİK BİR BİLGİSAYAR PROGRAMI

```

y(np + 1) = y(np + 1 - 1) + ya
Epspo(1) = Epspo
Itype(1) = Itype
Ast(1) = Ast
NEXT l
n = nd2
END SUB

SUB Plot (Ugn, UDat)
STATIC default
DIM Image(1975)
k = 0
FOR i = 1 TO 25
  IF i = 25 THEN Imcolor = SCREEN(i, 1, 1)
  FOR j = 1 TO 79
    k = k + 1
    Image(k) = SCREEN(i, j)
  NEXT j
NEXT i
CLS
IF default = 0 THEN default = 1
PRINT "Büyültme/Küçültme Faktörü <"; default; "> =";
INPUT " ", sf
IF sf = 0 THEN sf = default
default = sf
SCREEN 2
PRINT TAB(INT((79 - LEN(Ugn)) / 2)); Ugn
LOCATE 25, 68: PRINT UDat;
zmaxx = x(1)
zmaxy = y(1)
zminx = zmaxx
zminy = zmaxy
FOR i = 1 TO np
  IF zmaxx < x(i) THEN zmaxx = x(i)
  IF zmaxy < y(i) THEN zmaxy = y(i)
  IF zminx > x(i) THEN zminx = x(i)
  IF zminy > y(i) THEN zminy = y(i)
NEXT i
zmx = ABS(zminx) + ABS(zmaxx)
zmy = ABS(zminy) + ABS(zmaxy)
ratx = sf * 300 / zmx
raty = ratx / 3
IF raty * zmy > 160 THEN
  raty = sf * 160 / zmy
  ratx = raty * 3
END IF

```

Eksenler

```

x = 600 - (600 - zmx * ratx) / 2 - ABS(zminx) * ratx
y = (200 - zmy * raty) / 2 + ABS(zminy) * raty
LINE (x, 10)-(x, 190), , , &HFF00
LINE (0, y)-(600, y), , , &HFF00
LINE (0, y - 8)-(4, y - 4)
LINE (0, y - 4)-(4, y - 8)
LINE (x + 8, 184)-(x + 10, 186)
LINE (x + 8, 188)-(x + 12, 184)

```

Poligonlar

```

PSET (x - x(1) * ratx, y(1) * raty + y)
FOR i = 1 TO np
  LINE -(x - x(i) * ratx, y(i) * raty + y)
NEXT i
LINE -(x - x(1) * ratx, y(1) * raty + y)

```

Donatılar

```

FOR i = np + 1 TO np + nd
  j = i - np
  xx = x - x(i) * ratx
  yy = y(i) * raty + y
  IF Epspo(j) = 0 THEN r = 1 ELSE r = 2
  CIRCLE (xx, yy), r
  FOR k = 2 TO LEN(STR$(j))
    xx = xx + 6
    SELECT CASE MID$(STR$(j), k, 1)
      CASE "1": GOSUB 1
      CASE "2": GOSUB 2
      CASE "3": GOSUB 3
      CASE "4": GOSUB 4
      CASE "5": GOSUB 5
      CASE "6": GOSUB 6
      CASE "7": GOSUB 7
      CASE "8": GOSUB 8
      CASE "9": GOSUB 9
      CASE "0": GOSUB 10
      CASE ELSE
    END SELECT
  NEXT k
NEXT i

```

Sınır çizgisi

```

LINE (x - a * ratx, y)-(x, c * raty + y)
WHILE INKEY$ = ""
WEND
SCREEN 0

```

```

k = 0
FOR i = 1 TO 25
  FOR j = 1 TO 79
    IF i=1 OR (i=25 AND (j<4 OR j>51))OR(i=25 AND j>12 AND j<16) THEN
      COLOR Imcolor
    ELSE
      COLOR 7
    END IF
    k = k + 1
    LOCATE i, j
    PRINT CHR$(Image(k));
  NEXT j
NEXT i
COLOR 7
EXIT SUB
1 :
LINE (xx, yy + 2)-(xx + 3, yy)
LINE -(xx + 3, yy + 4)
RETURN
2 :
CIRCLE (xx + 2, yy + 1), 2, , 0, 3.14
LINE (xx + 4, yy + 1)-(xx, yy + 4)
LINE -(xx + 4, yy + 4)
RETURN
3 :
CIRCLE (xx + 2, yy + 1), 2, , 5, 3.14
CIRCLE (xx + 2, yy + 3), 2, , 4, 0
RETURN
4 :
LINE (xx + 4, yy + 3)-(xx, yy + 3)
LINE -(xx + 3, yy)
LINE -(xx + 3, yy + 4)
RETURN
5 :
LINE (xx + 4, yy)-(xx, yy)
LINE -(xx, yy + 2)
LINE -(xx + 3, yy + 2)
LINE -(xx + 4, yy + 3)
LINE -(xx + 3, yy + 4)
LINE -(xx, yy + 4)
RETURN
6 :
CIRCLE (xx + 2, yy + 3), 2
LINE (xx, yy + 2)-(xx, yy + 1)
LINE -(xx + 1, yy)
LINE -(xx + 3, yy)
RETURN
7 :
LINE (xx, yy)-(xx + 4, yy)

```

```

LINE -(xx + 1, yy + 4)
RETURN
8 :
CIRCLE (xx + 2, yy + 1), 2
CIRCLE (xx + 2, yy + 3), 2
RETURN
9 :
CIRCLE (xx + 2, yy + 1), 2
LINE (xx + 4, yy + 2)-(xx + 4, yy + 3)
LINE -(xx + 3, yy + 4)
LINE -(xx + 1, yy + 4)
RETURN
10 :
CIRCLE (xx + 2, yy + 2), 2, , , 1
RETURN
END SUB

SUB Prep (f1, f2, dk1, Teta, dNu, dMu, dMx, dMy)
f1 = 0: f2 = 0: dNu = 0: dMu = 0
f11 = 0: f12 = 0: f21 = 0: dMu1 = 0: dMu2 = 0
zmnx = x(1)
zmny = y(1)
FOR i = 1 TO np
  IF zmnx < x(i) THEN zmnx = x(i)
  IF zmny < y(i) THEN zmny = y(i)
NEXT i
FOR i = 1 TO np
  IF y(i) = 0 THEN IF zmnx > x(i) THEN zmnx = x(i)
  IF x(i) = 0 THEN IF zmny > y(i) THEN zmny = y(i)
NEXT i
z = a * c / SQR(a ^ 2 + c ^ 2)
z11 = (a - zmnx) * c / SQR(a ^ 2 + c ^ 2)
z12 = (c - zmny) * a / SQR(a ^ 2 + c ^ 2)
IF z11 > z12 THEN z1 = z11 ELSE z1 = z12
Epsc = Epsc0 * z / z1
FOR i = 1 TO nd
  Epss = Epss0(i) + dk1 * Epsc * (x(np + i) / a + y(np + i) / c - 1)
  IF Itype(i) THEN 'YUMUSAK CELIK
    IF ABS(Epss) < fyd / Es THEN
      Sigmas = Es * Epss
    ELSE
      Sigmas = Epss * fyd / ABS(Epss)
    END IF
  ELSE 'SERT CELIK
    i1 = 0: i2 = 0
    IF ABS(Epss) <= Eps(6) THEN i1 = 5: i2 = 6
    IF ABS(Epss) <= Eps(5) THEN i1 = 2: i2 = 5
    IF ABS(Epss) <= Eps(2) THEN i1 = 1: i2 = 2
    Sigmas = 0

```

TAŞIMA GÜCÜ HESABINA YÖNELİK BİR BİLGISAYAR PROGRAMI

```

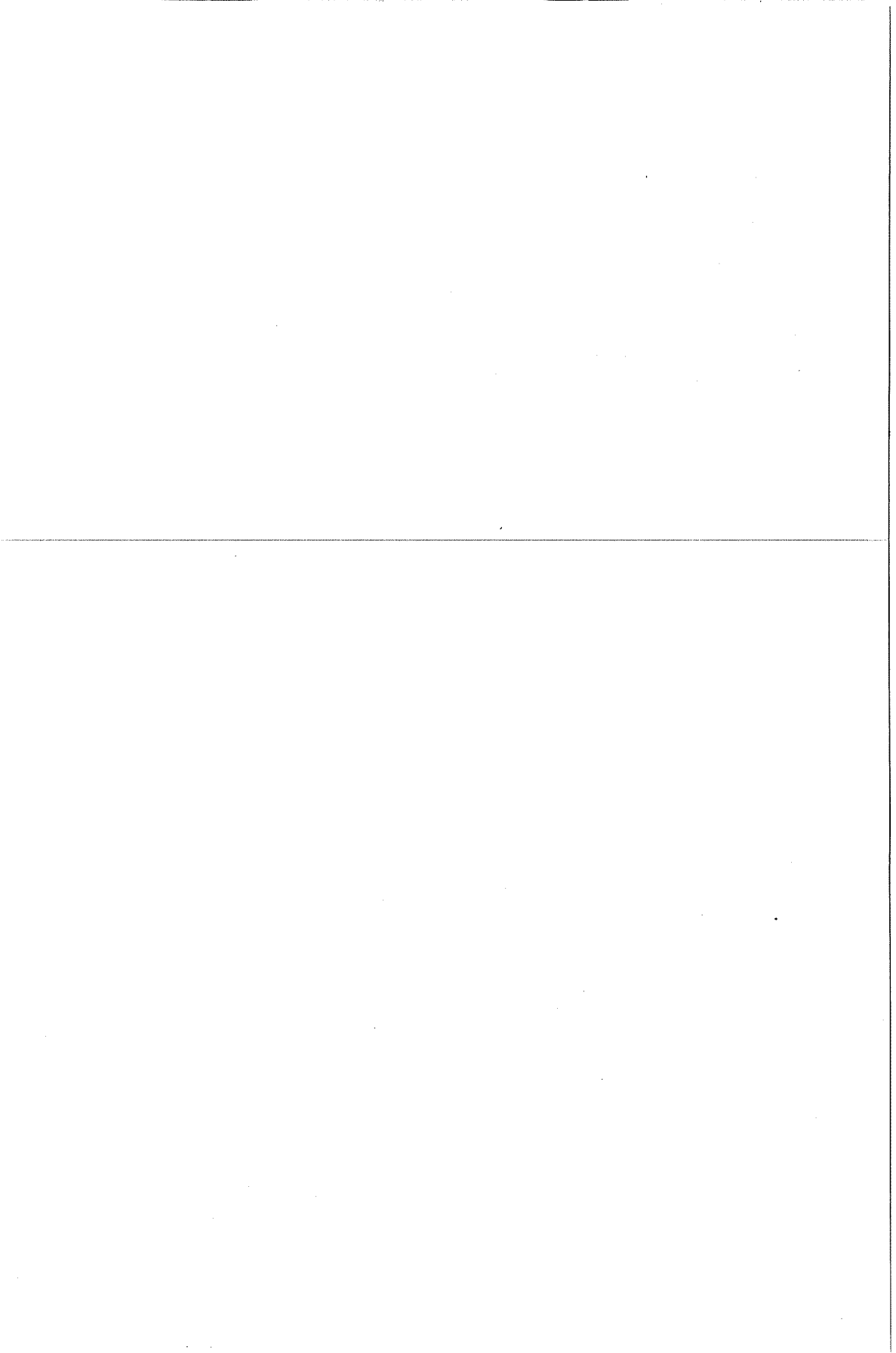
FOR j = i1 TO i2
  p = 1
  FOR k = i1 TO i2
    IF j <> k THEN p = p * (ABS(Epss) - Eps(k)) / (Eps(j)-Eps(k))
  NEXT k
  Sigmas = Sigmas + p * z(j)
NEXT j
Sigmas = Sigmas * Epss / ABS(Epss)
END IF
Sigma(i) = Sigmas
IF dMx = 0 AND dMy = 0 THEN
  f11 = f11 + (y(np + i) - yn) * Ast(i) * Sigmas
  f21 = f21 + (x(np + i) - xn) * Ast(i) * Sigmas
  dNu = dNu + Ast(i) * Sigmas
ELSE
  f11 = f11 + (y(np + i) * Ast(i) * Sigmas) * SIN(Teta)
  f12 = f12 + (x(np + i) * Ast(i) * Sigmas) * COS(Teta)
  f2 = f2 + Ast(i) * Sigmas
  dMu1 = dMu1 + (y(np + i) * Ast(i) * Sigmas) * COS(Teta)
  dMu2 = dMu2 + (x(np + i) * Ast(i) * Sigmas) * SIN(Teta)
END IF
NEXT i
CALL Area
IF dMx = 0 AND dMy = 0 THEN
  f1 = f11 - fcd * (y1 - yn) * Ac
  f2 = f21 - fcd * (x1 - xn) * Ac
  dNu = fcd * Ac - dNu
ELSE
  f11 = f11 - fcd * y1 * Ac * SIN(Teta)
  f12 = f12 - fcd * x1 * Ac * COS(Teta)
  f1 = f11 - f12
  f2 = f2 - fcd * Ac
  dMu1 = dMu1 - fcd * y1 * Ac * COS(Teta)
  dMu2 = dMu2 - fcd * x1 * Ac * SIN(Teta)
  dMu = dMu1 + dMu2
END IF
END SUB

SUB Reads (U, Uoku, okun, Ls)
  U = " " + UCASE$(U) + " "
  Uoku = " " + Uoku
  Ls = FALSE
  UB = ""
  FOR i = 1 TO LEN(U)
    IF RIGHT$(MID$(U, 1, i), LEN(Uoku)) = Uoku THEN Ls = TRUE: EXIT FOR
  NEXT i
  IF NOT Ls THEN EXIT SUB
  FOR i = 1 TO LEN(U)
    IF RIGHT$(MID$(U, 1, i + 1), 1) = "=" THEN

```



```
    Ls = TRUE: EXIT FOR
ELSE
    IF RIGHTS(MIDS(U, 1, i + 1), 1) <> " " THEN Ls = FALSE: EXIT FOR
END IF
NEXT i
IF NOT Ls THEN EXIT SUB
FOR i = i + 1 TO LEN(U)
    IF RIGHTS(MIDS(U, 1, i + 1), 1) <> " " THEN EXIT FOR
NEXT i
FOR j = 1 TO LEN(U)
    UB = UB + MIDS(U, i + j, 1)
    IF RIGHTS(UB, 1) = " " THEN EXIT FOR
NEXT j
okun = VAL(UB)
END SUB
```



BELCİK (Yıldızeli-Sivas) YÖRESİNDE BULUNAN BAZI NUMMULITES TÜRLERİNİN SİSTEMATİK İNCELEMESİ

Niyazi AVŞAR

Çukurova Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana / Türkiye

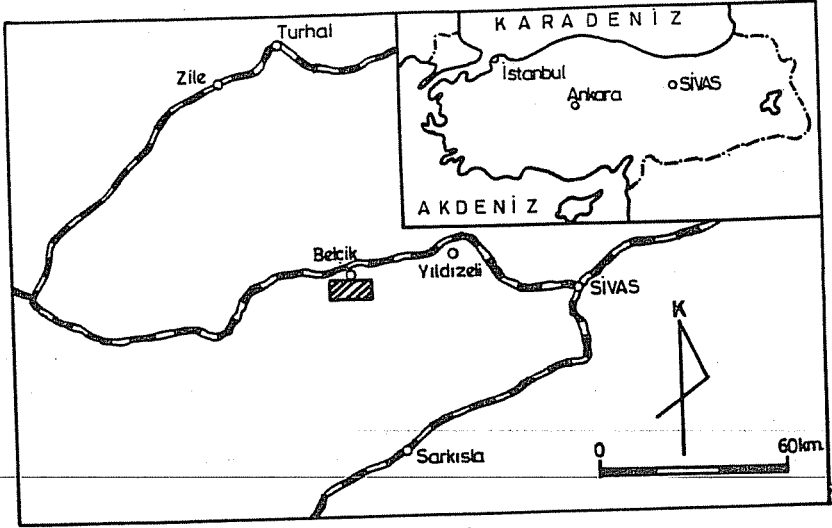
ÖZET: Bu çalışmada Belcik (Yıldızeli-Sivas) yöresi Eosen (Lütesiyen) çökellerinde bulunan Nummulites'lerin sistematik tanımları ve stratigrafik dağılımları incelenerek bölge stratigrafisi hakkında genel bilgi sunulmuştur.

Yörede temeli Paleozoyik yaşlı mikaşist, kalkşist ve gnayslardan oluşan şistler ve bunların içerisinde bloklar halinde bulunan kristalize kireçtaşlarından meydana gelen metamorfitleler oluşturur. Bu metamorfitleler üzerine uyumsuz olarak altta kumtaşı-marn aralanmalı, üstte ise kumlu kireçtaşı ve kireçtaşlarından oluşan Eosen (Lütesiyen) çökelleri gelmektedir. Üst seviyede bulunan bu kireçtaşları Nummulites millecaptur Boubée, Nummulites obtusus (Sowerby), Nummulites perforatus (Montfort), Nummulites aturicus Joly ve Leymerie, Nummulites beaumonti d'Archiac ve Haime ve Nummulites gizehensis (Forskâl) gibi Nummulites türleri içermektedir. Üstte ise, Neojen çökelleri Eosen (Lütesiyen) birimlerini uyumsuz olarak örtmektedir.

SYSTEMATIC STUDY OF THE SOME SPECIES OF THE NUMMULITES OF BELCİK (Yıldızeli-Sivas) REGION

ABSTRACT: In this study, systematic description and stratigraphic distribution of various Nummulites species in the Eocene (Lutetian) sediments of Belcik (Yıldızeli-Sivas) area were investigated and general information was given about regional stratigraphy.

In the region, Paleozoic rock units which are composed of micaschist, calcschist, gneiss and crystallized limestones are the basis of the sequences. Eocene (Lutetian) sediments which consist of conglomerates, intercalation of the marl and sandstone and sandy limestone and limestones at the upper part of the sequence lie discordantly over the Paleozoic metamorphics. Nummulites millecaptur Boubée, Nummulites obtusus (Sowerby), Nummulites perforatus (Montfort), Nummulites aturicus Joly and Leymerie, Nummulites beaumonti d'Archiac and Haime and Nummulites gizehensis (Forskâl) are described from these sandy limestone and limestones. Finally, the Neogene sediments are discordantly located on the Eocene (Lutetian) sequences.



Şekil 1 : Çalışma Alanının yer bulduru haritası.

1. GİRİŞ

İnceleme alanı Yıldızeli (Sivas) kazasının batısında bulunan Belcik nahiyesi dolayında yer almaktadır (Şekil 1).

Bölgenin jeolojisi ile ilgili olarak BAYKAL (1, 2), TATAR (3, 4), KURTMAN (5), YILMAZ (6, 7, 8, 9 ve 10), YILMAZ ve ÖZER (11), ÖZER ve GÖNCÜOĞLU (12) ve KARAGÖZ (13) gibi birçok araştırmacı tarafından muhtelif çalışmalar yapılmıştır. Belcik-Yıldızeli (Sivas) yöresinde bulunan Eosen (Lütesiyen) *Nummulites*'leri hakkında bugüne kadar ayrıntılı bir inceleme ortaya konmamıştır. Bu araştırmada yörede bulunan Eosen (Lütesiyen) *Nummulites*'lerinin ayrıntılı mikropaleontolojik incelemesi yapılarak, sistematik tanımları verilmiştir.

Araştırmanın amacı, bölgede bulunan bazı *Nummulites* türlerinin sistematik tanımlarını yapmak ve stratigrafik dağılımlarını belirtmektir.

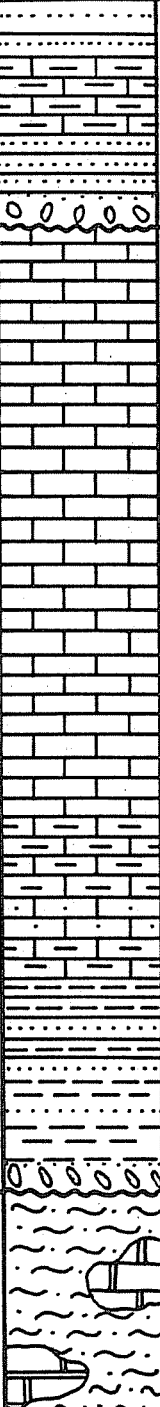
2. STRATİGRAFI

2.1 Paleozoyik

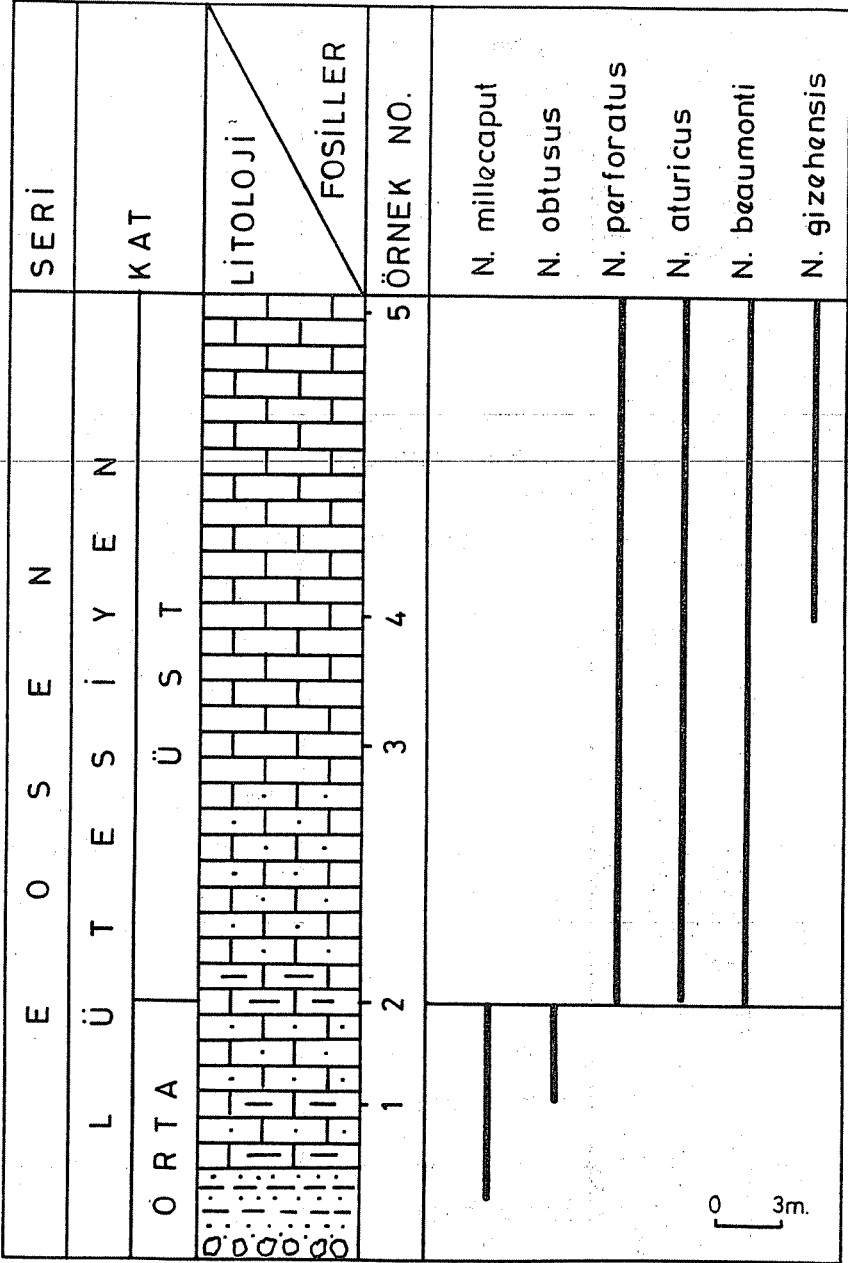
İnceleme alanında temeli Paleozoyik yaşlı metamorfitletler oluşturmaktadır. Bu metamorfitletler yeşil-kahve renkli, mikaşist, kalkışist ve gnayslardan oluşan şistler ile bunların içerisinde bloklar halinde bulunan krem-kahve ve sarımsı renkli, erime boşluklu, kristalize kireçtaşları ile temsil olunur. Uyumsuz olarak da daha genç birimler tarafından örtülür.

2.2 Eosen

Lütesiyen: Paleozoyik yaşlı metamorfitletler üzerine uyumsuz olarak Lütesiyen yaşlı

S E N O Z O Y I K	S İ S T E M	S E R İ	A Ç I K L A M A L A R		
			L İ T O L O J İ	P A L E O N T O L O J İ	
P A L E O Z O Y I K	T E R S İ Y E R	N E O J E N		<p>Gevşek karbonat çimentolu, çakıltası, kumtaşı</p>	
			<p>Sarımsı renkte, düzenli tabakalanmalı, bol Nummulitesli kireçtaşı.</p>	<p>N. gizehensis N. beaumonti N. aturicus N. perforatus N. obtusus N. millecaput Discocyclina sp. Sphaerogypsina sp.</p>	
P A L E O Z O Y I K	T E R S İ Y E R	N E O J E N	<p>Kumtaşı - marn ar dalanması.</p>		
			<p>Erime boşluğu, çatlaklı mermer</p> <p>Yeşil, kahve renkli, mikasıst, kalkşıst gnays.</p>		
			ORTA - ÜST LÜTESİYEN		

ekil. 2: Belcik (Yıldızeli) yöresinin genelleştirilmiş dikme kesiti.



Şekil 3: Ortakale Tepe stratigrafi kesiti ve yörede bulunan bazı Nummulites türlerinin stratigrafik dağılımı.

çökeller gelmektedir. Birim tabanda metamorfitlelerden türemiş kötü boylanmalı, yuvarlak, genellikle mermer, yarı kristalize kireçtaşı, kalkşist, mikaşist ve gnays çakılları içeren kumtaşı ve çakıltaşlarıyla başlar. Bunun üzerine krem-bej renkli kumtaşı -marn ardalanmasından oluşmuş fliş özelliğinde çökeller bulunmaktadır. Üstte ise kumlu kireçtaşı ve sarımsı renkte, ayrılmış orta kalınlıkta bol *Nummulites*"li, düzenli katmanlı, yanal olarak incelik kalınlaşabilen kireçtaşları bulunmaktadır. Bu kireçtaşları *Nummulites millicaput* Boubée, *Nummulites obtusus* (Sowerby), *Nummulites perforatus* (Montfort), *Nummulites aturicus* Joly ve Leymerie, *Nummulites beaumonti* d'Archiac ve Haime ile *Nummulites gizehensis* (Forskål) gibi *Nummulites* türleri içermektedir (Şekil 3).

2.3 Neojen

İnceleme alanında Lütésiyen yaşlı birimleri belirgin bir uyumsuzlukla örten Neojen tortulları açık gri renkli, gevşek karbonat çimentolu çakıltaşı ve kumtaşlarından oluşmuştur. Bu çakıltaşları orta derecede yuvarlaklaşmış, kötü boylanmalı, bazen tabakasız ve yer yer az çok tabakalanma gösterirler (Şekil 2).

3. SİSTEMATİK İNCELEME

Familya: NUMMULITIDAE

Cins : NUMMULITES (=Camerina)

Nummulites millicaput Boubée

(Levha I, şek. 1-7)

1832 *Nummulites millicaput* Boubée (14), levha XV, şek. 1-4.

1911 *Nummulites millicaput* Boubée Boussac (15), levha I, şek. 7,15.

1963 *Nummulites millicaput* Boubée, Bieda (16), levha X, şek. 1-3, 6.

1967 *Nummulites millicaput* Boubée, Nemkov (17), levha X, şek. 1-6.

1972 *Nummulites millicaput* Boubée, Blondeau (18), levha XIII, şek. 1-9.

1979 *Nummulites millicaput* Boubée, Kenawy (19), levha II, şek. 4, levha III, şek. 1-3, 8.

1981 *Nummulites millicaput* Boubée, Schaub (20), levha 37, şek. 14-16, levha 68, şek. 24-30, levha 69, şek. 1-7.

Tanımlama**Makrosferik Şekil**

Dış Karakterler: Kavkı merceksi şekillidir. Çap 5-7.5 mm, kalınlık 2.4-3.2 mm olarak ölçülmüştür. Bölme şebekesi çok ince ve ışınsaldır. 5 mm lik bir çapta 5 tur, 7 mm lik bir çap içerisinde 7 tur sayılmıştır.

İç Karakterler: İlk loca küresel olup çapı 0.6-1.05 mm arasın değişmektedir. Spir düzensiz ve gevşek sarılımlıdır. Bölmeler oldukça düzenli, eğik ve ondülelidir.

Mikrosferik Şekil

Dış Karakterler: Kavkı ince merceksi şekilli, kenarları ondüleli ve orta kısmı hafifçe şişkindir. Çap 40-55 mm, kalınlık 3.4-4 mm olarak ölçülmüştür.

Stratigrafik Seviye: Orta Lütisiyen

Bulunduğu Yer: Ortakale Tepe

Nummulites obtusus (Sowerby)

(Levha I, şek. 8-10)

1840 *Nummulites obtusus* Sowerby (21), levha XXIV, şek. 14a.

1926 *Nummulites obtusus* (Sowerby), Nuttall (22), levha II, şek. 10, levha III, şek. 1-2.

1959 *Nummulites obtusus* (Sowerby), Nagappa (23), levha IX, şek. 3-4.

1981 *Nummulites obtusus* (Sowerby), Schaub (20), levha 86a-i.

Tanımlama**Mikrosferik Şekil**

Dış Karakterler: Kavkı oldukça şişkin merceksi şekillidir. Çap 13.2-21.3 mm, kalınlık 8.6-13 mm arasında değişmektedir. Numunenin az oluşundan dolayı ayrıntılı özellikleri verilememiştir.

Stratigrafik Seviye: Orta Lütisiyen

Bulunduğu Yer: Ortakale Tepe

Nummulites perforatus (Montfort)

(Levha II, şek. 1-11)

1911 *Nummulites perforatus* (Montfort), Boussac (15), levha III, şek. 7, 13, 16.

1962 *Nummulites perforatus* (Montfort), Schaub (24), s. 327, 156

- şek. 7.
- 1963 *Nummulites perforatus* (Montfort), Bieda (16), levha XIII, şek. 2, 3, 5, 7, levha XV, şek. 8.
- 1967 *Nummulites perforatus* (Montfort), Nemkov (17), levha XXI, şek. 6-8.
- 1968 *Nummulites perforatus* (Montfort), Bombita ve Moisescu, (25), levha II, şek. 1, 13.
- 1972 *Nummulites perforatus* (Montfort), Blondeau (18), levha XXXIV, şek. 6-11.
- 1976 *Nummulites perforatus* (Montfort), Rahaghi ve Schaub, (26), levha IV, şek. 5, levha V, şek. 1.
- 1978 *Nummulites perforatus* (Montfort), Özyeğin (27), levha XIV, şek. 1-3.
- 1979 *Nummulites perforatus* (Montfort), Kenawy (19), levha III, şek. 9a-b.
- 1981 *Nummulites perforatus* (Montfort), Schaub (20), şek. 76, 77, levha XVII, levha XVIII, levha XIX, şek. 1-8.
- 1989 *Nummulites perforatus* (Montfort), Avşar (28), levha I, şek. 1-4, 8-9.

Tanımlama

Makrosferik Şekil

Dış Karakterler: Kavkı şişkince merceksi, hafif keskin kenarlıdır. Çap 5.1-6.8 mm, kalınlık 3-3.5 mm olarak ölçülmüştür. Bölme şebekesi ışınsal, bölme çizgileri ince ve hafif dalgalıdır. Genellikle kavkının merkezinde toplanmış çok sayıda granüller vardır. Bu granüller bölme çizgilerinin üzerinde ve arasında, orta kısımda irice olup, kenarlara doğru ufalmaktadır. 5.7 mm lik bir çapta 7 tur, 6.8 mm lik bir çap içerisinde 8 tur sayılmıştır.

İç Karakterler: İlk loca küresel olup çapı, 575-900 mikron arasında değişmektedir. Spir ilk turlarda gevşek, sonraki turlarda tekrar sıkılaşmaktadır. Bölmeler düzenli, kıvrılmış ve biraz eğiktir. Bir önceki halkanın lam spiraline hemen hemen diktir. Loca şekilleri ilk turlarda izometrik, sonraki turlarda ise loca genişliği yüksekliğinden daha büyük olmaktadır.

Mikrosferik Şekil

Dış Karakterler: Kavkı şekli merceksi, çok şişkin ve kenarları yuvaraktır. Çap 18-21.6 mm, kalınlık 7.6-10.4 mm arasında değişir. Diğer dış karakterleri makrosferik şeklin dış karakterlerine benzer. 21.6 mm lik bir çap içerisinde 32 tur sayılmıştır.

İç Karakterler: İlk loca çok küçük olduğu için ölçü yapılamamıştır. Gelişmiş formlar üç evreli sarılım göstermektedir. Diğer özellikleri makrosferik şeklin aynıdır.

Stratigrafik Seviye: Üst Lütésiye
Bulunduğu Yer: Ortakale Tepe

Nummulites aturicus Joly ve Leymerie
(Levha III, Şek. 1-4)

- 1848 *Nummulites aturica* n. sp., Joly ve Leymerie (29),
levha II, Şek. 9-10.
- 1953 *Nummulites aturica* Joly ve Leymerie, Daci-Dizer (30),
levha VIII, Şek. 9.
- 1962 *Nummulites aturicus* Joly ve Leymerie, Schaub (24),
Şek. 4a-b.
- 1963 *Nummulites aturicus* Joly ve Leymerie, Schaub (31),
Şek. 1-2.
- 1963 *Nummulites aturicus* Joly ve Leymerie, Herb ve Schaub,
(32), Şek. 11, levha X, Şek. 2,5, levha XI, Şek.
4-6, levha VIII, Şek. 1-6.
- 1972 *Nummulites aturicus* Joly ve Leymerie, Blondeau (18),
levha XXXIV, Şek. 1-4.
- 1981 *Nummulites aturicus* Joly ve Leymerie, Schaub (20),
Şek. 79-80, levha XV, Şek. 23-26, levha XVI,
Şek. 1-30.

Tanımlama

Makrosferik Şekil

Dış Karakterler: Kavkı hafifçe Şişkin merceksi Şekilli ve kenarları az keskindir. ap 4.3-5.6 mm, kalınlık 2.7-3.1 mm, fileler ışınsal, bölme çizgileri ince ve hafif dalgalıdır. Granüller çok sayıda olup, merkezi kısımda irice, kenarlara doğru ufak ve düzensiz dağılımlıdır. 5.6 mm lik bir çapta 7 tur sayılmıştır.

İ Karakterler: İlk loca düzensiz, yarı küresel Şekillidir ve çapı 550-800 mikron arasında değişmektedir. Spir kalın ve düzensiz sarılımlı olup, özellikle son turlarda sıkı sarılımlıdır. Bölmeler ince, arke, yatık ve yer yer dalgalıdır. Loca genişliği yksekliliğinden fazladır.

Stratigrafik Seviye: Üst Lütésiye
Bulunduğu Yer: Ortakale Tepe

Nummulites beaumonti d'Archiac ve Haime
(Levha III, Şek. 5-7)

- 1853 *Nummulites beaumonti* n. sp., d'Archiac ve Haime (33),
levha VIII, şek. 1a-e, 2, 3.
- 1926 *Nummulites beaumonti* d'Archiac ve Haime, Nuttall (22),
levha I, şek. 4-5.
- 1940 *Nummulites beaumonti* d'Archiac ve Haime, Davies (34),
levha IX, şek. 1-9.
- 1952 *Nummulites beaumonti* d'Archiac ve Haime, Azzaroli (35),
levha IX, şek. 3, 6, 12, 13.
- 1959 *Nummulites beaumonti* d'Archiac ve Haime, Nagappa (23),
levha VIII, şek. 15-17, levha IX, şek. 1-2.
- 1981 *Nummulites beaumonti* d'Archiac ve Haime, Schaub (20),
levha 53, şek. 17-19, 22-25.

Tanımlama

Makrosferik Şekil

Dış Karakterler: Kavkı merceksi şekilli, orta kısmı bombeli ve kenarları keskindir. Aşındırıldığında beyaz leke görülmektedir. Çap 3.4 mm, kalınlık 1.6-2.3 mm olarak ölçülmüştür. Fileler ortada turbiyonal, kenarlara doğru hafifçe kıvrılarak gelişmektedir. İyi temizlenmiş örneklerde kavkı kenarında transvers trabeküller izlenmektedir. 3 mm lik bir çap içerisinde 6 tur, 3.4 mm lik bir çapta ise 7 tur sayılmıştır.

İç Karakterler: İlk loca küresel olup, çapı 125-200 mikron arasındadır. Spir yavaş sarılımlıdır. Bölmeler ince, az eğik ve düz olup, locaların yükseklikleri genişliklerinden fazladır.

Stratigrafik Seviye: Üst Lütisiyen

Bulunduğu Yer: Ortakale Tepe

Nummulites gizehensis (Forskâl)

(Levha III, şek. 8-12)

- 1930 *Nummulites gizehensis* (Forskâl), Cuvillier (36), levha
XIV, şek. 1-2, levha XVI, şek. 1-2,7.
- 1951 *Nummulites gizehensis* (Forskâl), Said (37), s. 120,
şek. 2-8.
- 1954 *Nummulites gizehensis* (Forskâl), Smout (38), levha XV,
şek. 1.
- 1981 *Nummulites gizehensis* (Forskâl), Schaub (20), levha
XXXVI, şek. 26-52, levha XXXVII, şek. 1-13.

Tanımlama

Makrosferik Şekil

Dış Karekterler: Kavkı ince merceksi şekillidir. Çap 4-5.9 mm, kalınlık 1.8-2.6 mm olarak ölçülmüştür. Bölme şebekesi ışınal, bölme çizgileri ince ve turbiyonaldır. Kavkı yüzeyindeki granüller bazı örneklerde görülmesine rağmen bazılarında izlenmemektedir. 4.6 mm lik bir çapta 6 tur, 5 mm lik çap içerisinde 7 tur sayılmıştır.

İç Karekterler: İlk loca küresel olup, çapı 450-750 mikron arasında değişmektedir. Spir ilk turlarda gevşek, son turlarda düzenli sarımlıdır. Bölmelerin biraz eğimli olmasına rağmen düz olanlarında vardır. Düzensiz olan bölmeler izometriktr. İlk turlarda loca yüksekliği genişliğinden büyük, son turlarda ise loca yüksekliği genişliğinden küçüktür.

Stratigrafik Seviye: Üst Lütesiyen

Bulunduğu Yer: Ortakale Tepe

4. SONUÇLAR

Bu araştırma sonucunda yöredeki Orta Lütesiyen katmanlarında bulunan *Nummulites*'lerden *Nummulites millicaput* Boubée ve *Nummulites obtusus* (Sowerby), Üst Lütesiyen katmanlarında bulunan *Nummulites*'lerden ise *Nummulites perforatus* (Montfort), *Nummulites aturicus* Joly ve Leymerie, *Nummulites beaumonti* d'Archiac ve Haime ile *Nummulites gizehensis* (Forskål) gibi türlerin sistematik tanımları yapılarak, bunların stratigrafik dağılımları verilmiştir. Ayrıca, değinilen topluluğun Belcik (Yıldızeli-Sivas) yöresindeki varlığı ortaya konulmuştur.

5. KAYNAKLAR

1. Baykal,F., Zile-Tokat-Yıldızeli bölgesinin jeolojisi. İ.Ü.F.F. Mecm., Seri B, XII/3. 1947.
2. Baykal,F., 1/500.000 ölçekli jeolojik harita ve izahnamesi (Sivas). M.T.A yayınl. 1966.
3. Tatar,Y., Ofiyolitli Çamlıbel (Yıldızeli) bölgesinin stratigrafi ve petrografisi. M.T.A. Derg. no.88. 1977.
4. Tatar,Y., Çamlıbel Geçiti (Yıldızeli) yöresindeki Ofiyolitik seride Metamorfizma. K.T.Ü. Yer Bilimleri Derg. c.1, n.1. 1981.
5. Kurtman,F., Sivas-Hafik-Zara ve Imralı bölgesinin jeolojik ve tektonik yapısı. M.T.A Derg. no. 80, 1973.
6. Yılmaz,A., Dumanlı Dağı ile Çeltektek Dağı arasındaki bölgede ofiyolitli karışığın iç yapısı ve diğer birimlerle olan ilişkisi. T.J.K. 33. Bil. Teknik Kurultay Bült. 24/1, 1979.
7. Yılmaz,A., Tokat ile Sivas arasındaki bölgede ofiyolitlerin kökeni, iç yapısı ve diğer birimlerle olan ilişkisi. A.Ü. Fen Fak. Doktora Tezi. 136, 1980.

8. Yılmaz,A., Tokat ile Sivas arasındaki bölgede ofiyolitli karışığın iç yapısı ve yerleşme yaşı. T.J.K. Kurult. Bült. 24/1. 1981.

9. Yılmaz,A., Dumanlı Dağı ile Çeltek Dağı dolaylarının temel jeoloji özellikleri ve ofiyolitli karışığın konumu. MTA Derleme Rap. no. 7230. 1982.

10. Yılmaz,A., Tokat ile Sivas dolaylarının temel jeoloji özellikleri ve ofiyolitli karmaşığın konumu MTA. Derg., 99-100. Ankara. 1983.

11. Yılmaz,A. ve Özer,S., Kuzey Anadolu bindirme kuşağının Akdağmadeni (Yozgat) ile Karaçayır (Sivas) arasındaki bölümün temel jeoloji incelemesi ve Tersiyer havzasının yapısal evrimi. Ketin Simpozyumu, 163-174. 1984.

12. Özer,S., ve Göncüoğlu,C., Orta Anadolu masifi doğusunda ilginç parajenezler. MTA. Derg. 95/96. Ankara. 1981.

13. Karagöz,T.,Yıldızeli-Belcik Barajı (Sivas) Mühendislik Jeolojisi İncelemesi. C. Ü. Fen Bil. Enst. 1990.

14. Boubee,N., Présentation de deux nouvelles espèces de Nummulites. Bull. Soc. géol. France. 444-445. 1832.

15. Boussac,J., Etudes Paleontologique sur le Nummulitique Alpin. Mém. pour Serv. a L'expic. Carte Jeol. Detail de la France, 447 pp, 1911.

16. Bieda,F., Larger foraminifera from the Tatra Eocene.Prac. Inst. Geol., I. vol. 37. Warszawa, 1963.

17. Nemkow,G.I., Nummulitids of the Soviet Union and their biostratigraphic significance. Nauca, Moskow, 16/20, 317 pp, 1967.

18. Blondeau,A., Les Nummulites,1-254,pl.1-38. Paris, 1972.

19. Kenawy,A.I., Early late Eocene larger foraminifera of Nile Valley, Egypt. First Geol.Congress of the Middle East, 496-540, 1979.

20. Schaub,H., Nummulites et Assillines de la Tethys Paléogène; Taxinomie, phylogènese et biostratigraphie. Schweizerische Palaontogische Abhandlungen Memoires Suisses de Paleontologie, 104, 1981.

21. Sowerby,J. de C., Systematic list of organic remains. Appendix to Grant, C. W., Memoir to illustrate a geological map of Cutch. Geol. Soc. London, Trans., London, ser. 2, v. 5, pp. 327-329. 1840.

22. Nuttall,W.L.F., The zonal distribution and description of the larger foraminifera of the Middle and Lower Kirthar series (Middle Eocene) of parts of Western India. India, Geol. Survey, Rec., Calcutta, vol. 59, pp. 115-164,1926.

23. Nagappa,Y., Foraminiferal biostratigraphy of the Cretaceous-Eocene succession in the India-Pakistan- Burma region. Micropaleont. v.5, n.2, pp.145-192, 1959.

24. Schaub,H., Über einige stratigraphisch wichtige Nummuliten-Arten. Ecl. Geol. Helv., Basel, 55, 2, 529-551, 1962.

25. Bombita,Gh. ve Moisescu,V., Données actuelles sur le Nummulitique Transylvanie. Mém. Bur. Rech. geol. min. 58 (Colloq. sur l'Eocene, Paris), 693-729,

1968.

26. Rahaghi, A. ve Schaub, H., *Nummulites et Assilines du NE de l'Iran. Eclogae geol. Helv.* 69, 765-782, 1976.

27. Özyeğin, G., *Haymana bölgesi güneyinden derlenen Nummuliteslerin sistematigi -I. TPAO Eğt. Yayinlari no.4, 1978.*

28. Avşar, N., *Eocene benthonic foraminifera from the Elaziğ region. Geosound, no. 17, 133-159, 1989.*

29. Joly, N., ve Leymerie, A., *Mémoire sur les Nummulites considérées zoologiquement et géologiquement. Mém. Acad. Sci. Toulouse (3), 4, 1-70, 1848.*

30. Daci-Dizer, A., *Contribution à l'étude paléontologique du Nummulitique de Kastamonu. I.Ü. Fen Fak., Mec. ser. B, vol. 18, no. 3-4, pp. 207-299, 1953.*

31. Schaub, H., *Über einige Entwicklungsreihen von Nummulites und Assilina und ihre stratigraphische Bedeutung. In: Evolutionary Trends in Foraminifera, ed. by G.H.R. von Königswald et al.-Elsevier, Amsterdam, 1963.*

32. Herb, R. ve Schaub, H., *Zur Nummulitenfauna des Mittelozans von Sorde. l'Abbaye (Landes, Frankreich). Eclogae geol. Helv.* 56, 973-999, 1963.

33. Archiac, A. d'. ve Haime, *Description des animaux fossiles du groupe nummulitique de l'Inde. Précédé d'un résumé géologique et d'une monographie des Nummulites, Paris, 1853.*

34. Davies, L.M., *The upper Kirthar beds of northwest India Geol. Soc. London, Quart. Jour., London, vol. 95, pp. 199-230, 1940.*

35. Azzaroli, A., *I macroforaminiferi della serie del Carcar (Eocene medio e superiore in Somalia) e la loro distribuzione stratigrafica. Paleontogr. Italica, Piza, 47, 17, 99-131, 1952.*

36. Cuvillier, J., *Révision du Nummulitique égyptien. Mém. Inst. Egypte 16, 1-371. 1930.*

37. Said, R., *Restudy of the "races" of Nummulites gizehensis. Contr. Cushman Found. foram. Res., Washington 2, 119-130. 1951.*

38. Smout, A.H., *Lower tertiary foraminifera of the Qatar peninsula. Brit. Mus. (Nat. Hist.), 1-80. 1954.*

LEVHALAR

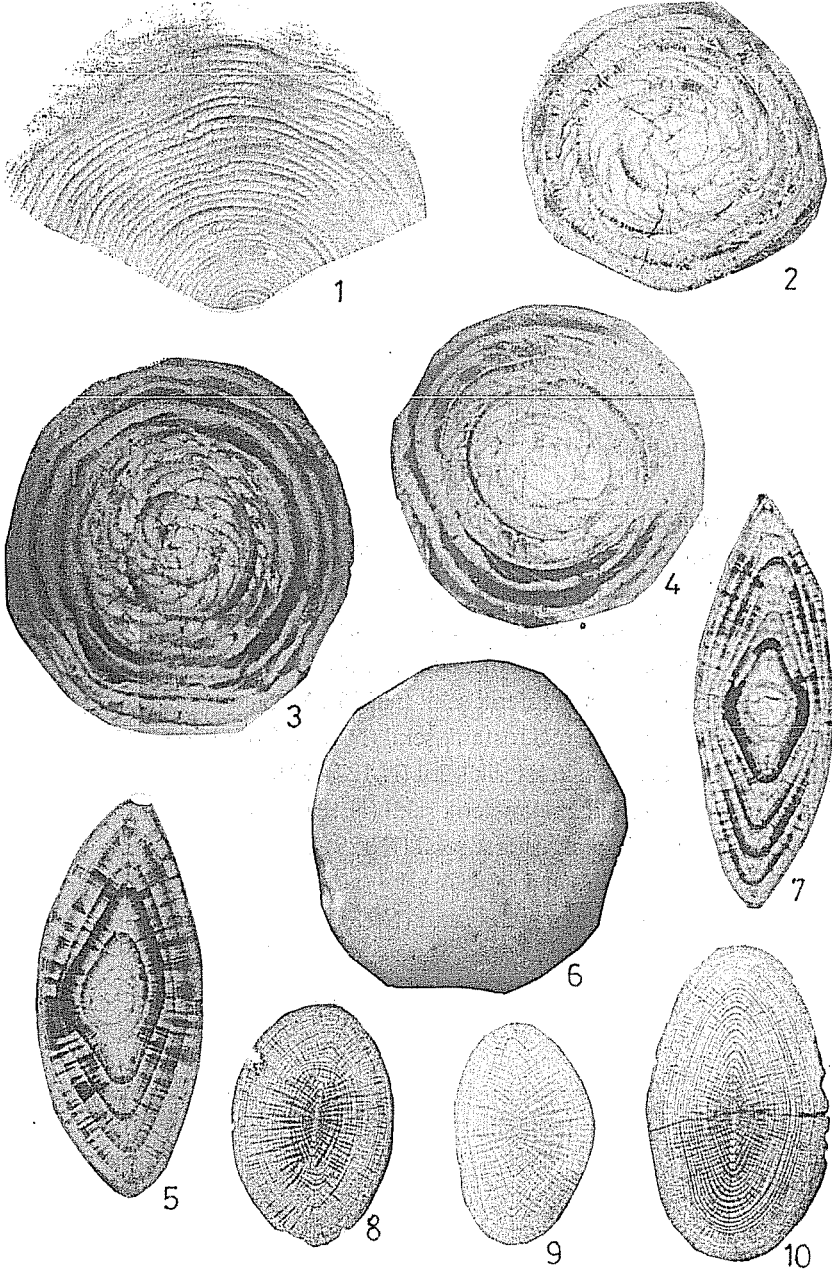
LEVHA I*Nummulites millicaput* Boubée

- Şekil 1. Ekvatoryal kesit, mikrosferik şekil (N.111), X2
Şekil 2. Ekvatoryal kesit, makrosferik şekil (N.112), X8
Şekil 3. Ekvatoryal kesit, makrosferik şekil (N.113), X9
Şekil 4. Ekvatoryal kesit, makrosferik şekil (N.114), X8
Şekil 5. Eksenel kesit, makrosferik şekil (N.115), X8
Şekil 6. Dış görünüş, makrosferik şekil (N.116), X8
Şekil 7. Eksenel kesit, makrosferik şekil (N.117), X8

Nummulites obtusus (Sowerby)

- Şekil 8. Eksenel kesit, mikrosferik şekil (N.118), X2
Şekil 9. Eksenel kesit, mikrosferik şekil (N.119), X2.5
Şekil 10. Eksenel kesit, mikrosferik şekil (N.120), X2

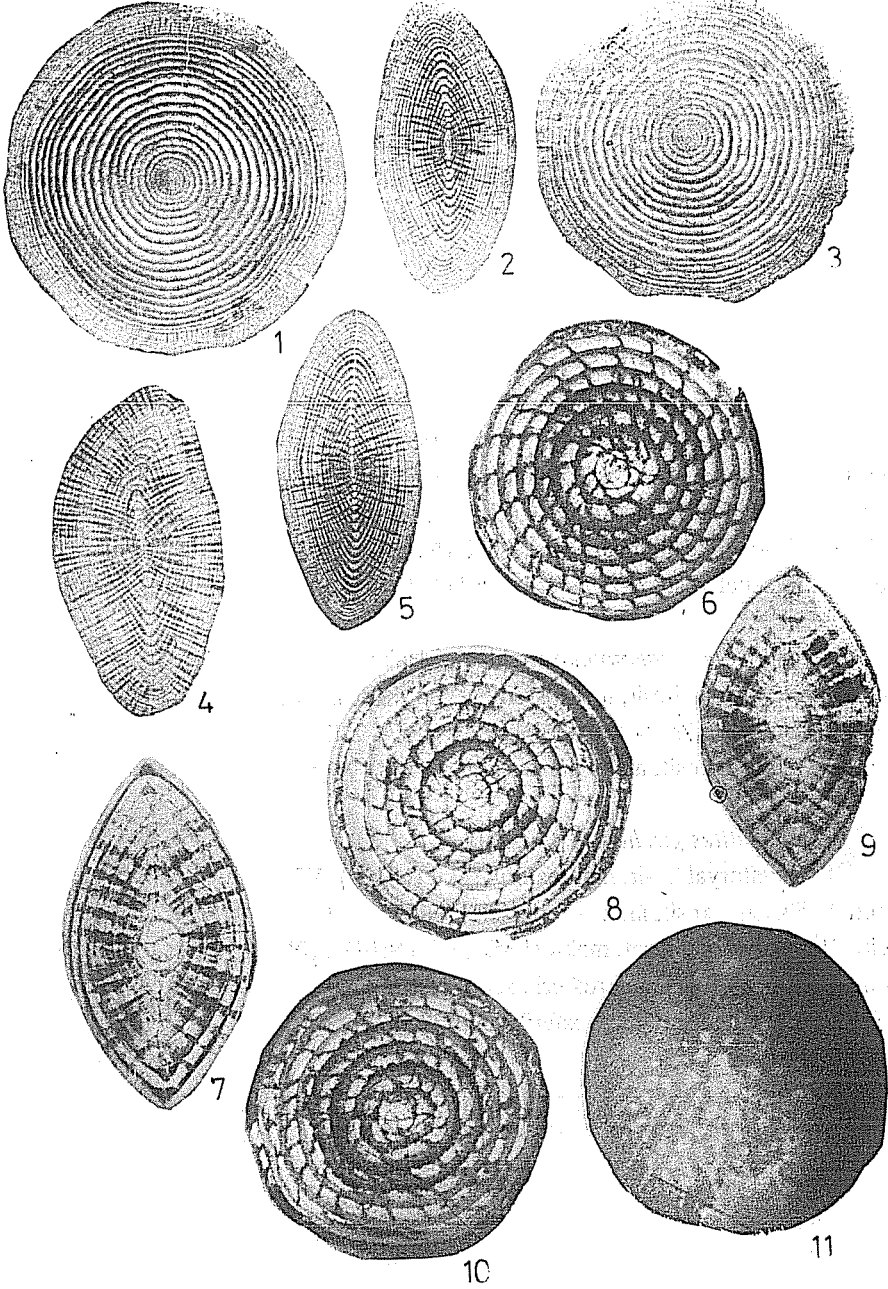
LEVHA I



LEVHA II

Nummulites perforatus (Montfort)

- Şekil 1. Ekvatoryal kesit, mikrosferik şekil (N.121), X2.5
Şekil 2. Eksenel kesit, mikrosferik şekil (N.122), X2.5
Şekil 3. Ekvatoryal kesit, mikrosferik şekil (N.123), X3
Şekil 4. Eksenel kesit, mikrosferik şekil (N.124), X2.5
Şekil 5. Eksenel kesit, mikrosferik şekil (N.125), X2.5
Şekil 6. Ekvatoryal kesit, makrosferik şekil (N.126), X8
Şekil 7. Eksenel kesit, makrosferik şekil (N.127), X9
Şekil 8. Ekvatoryal kesit, makrosferik şekil (N.128), X8
Şekil 9. Eksenel kesit, makrosferik şekil (N.129), X9
Şekil 10. Ekvatoryal kesit, makrosferik şekil (N.130), X8
Şekil 11. Dış görünüş, makrosferik şekil (N.131), X8



LEVHA III

Nummulites aturicus Joly ve Leymerie

- Şekil 1. Ekvatoryal kesit, makrosferik şekil (N.132), X8
 Şekil 2. Dış görünüş, makrosferik şekil (N.133), X8
 Şekil 3. Eksenel kesit, makrosferik şekil (N.134), X10
 Şekil 4. Eksenel kesit, makrosferik şekil (N.135), X10

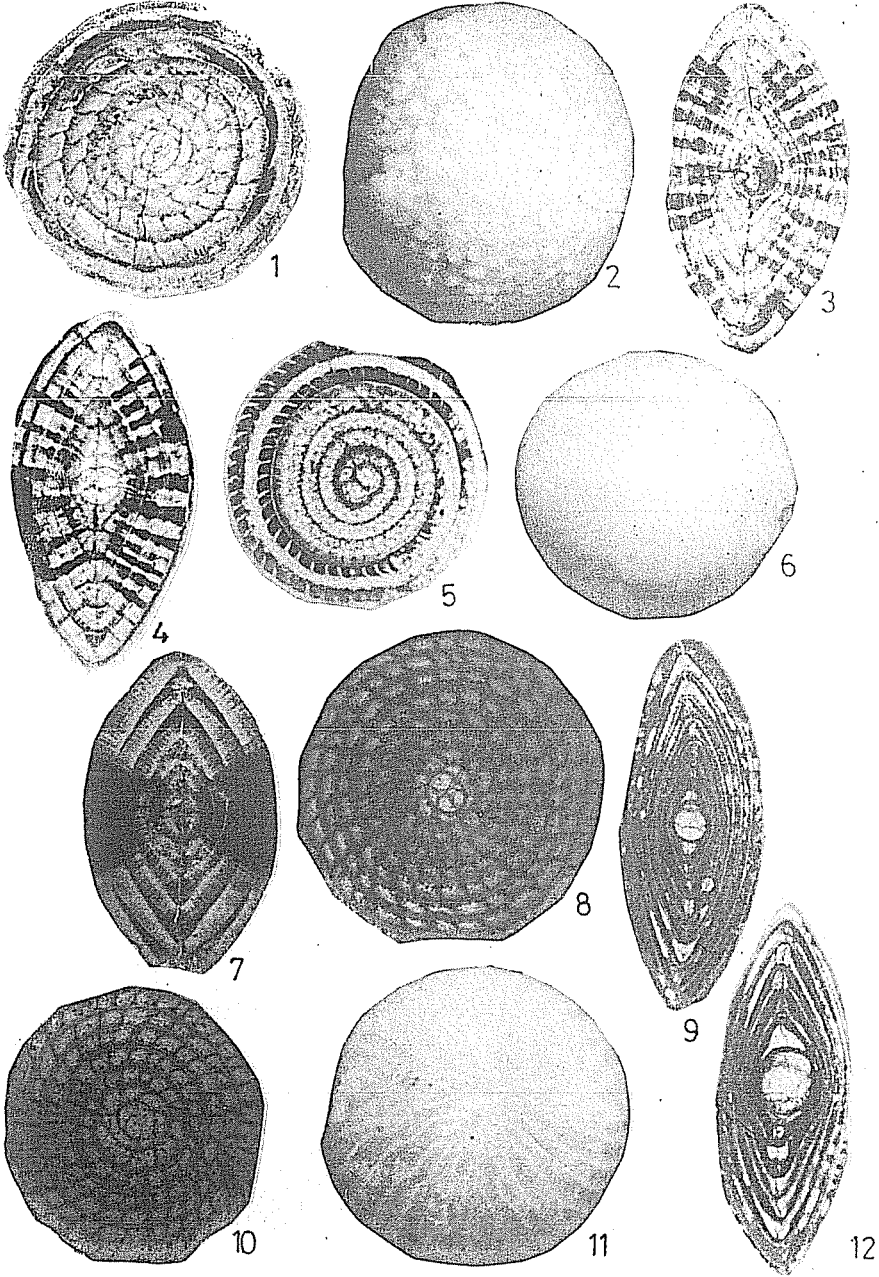
Nummulites beaumonti d'Archiac ve Haime

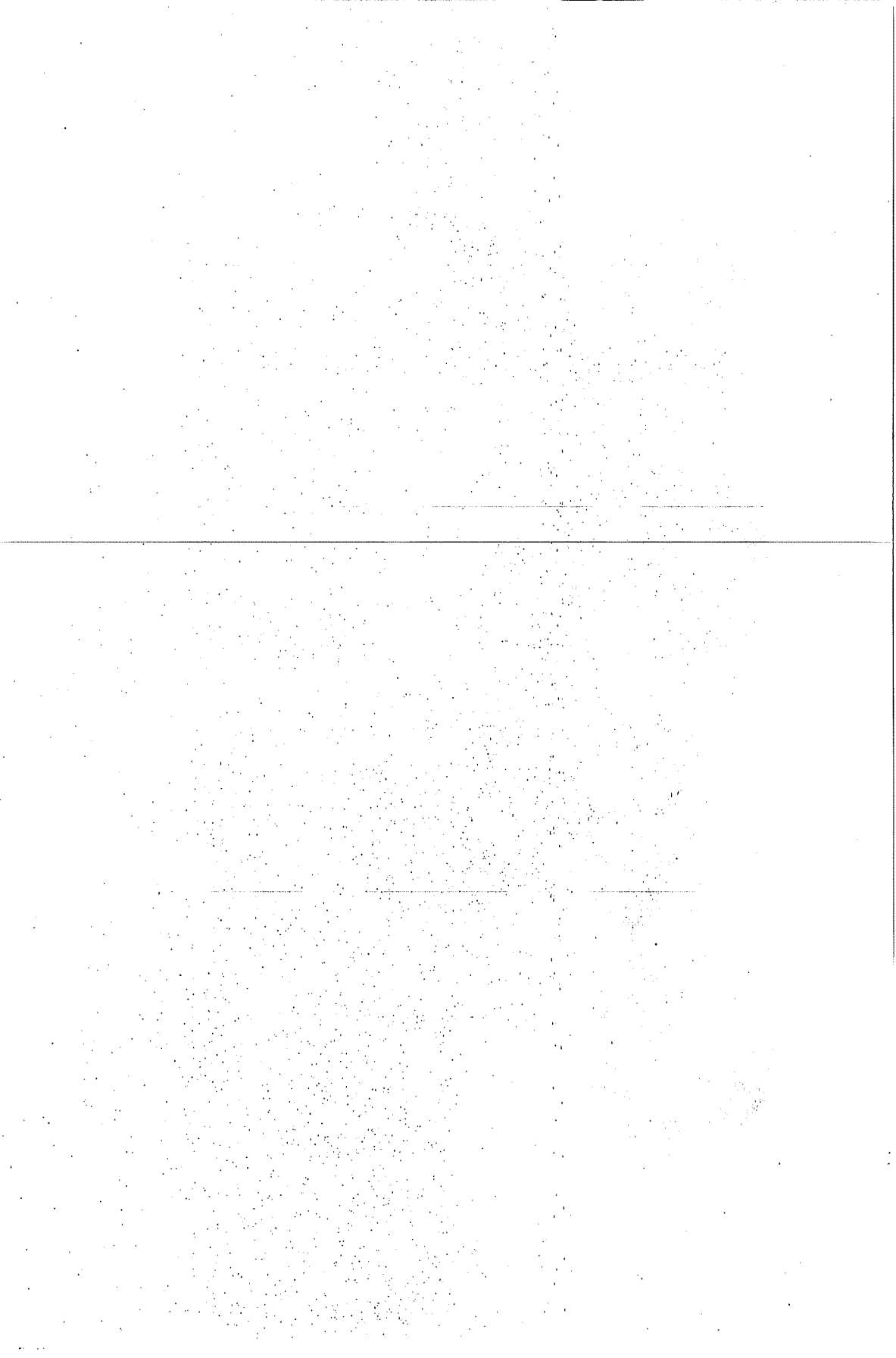
- Şekil 5. Ekvatoryal kesit, makrosferik şekil (N.136), X12
 Şekil 6. Dış görünüş, makrosferik şekil (N.137), X12
 Şekil 7. Eksenel kesit, makrosferik şekil (N.138), X16

Nummulites gizehensis (Forskål)

- Şekil 8. Ekvatoryal kesit, makrosferik şekil (N.139), X9
 Şekil 9. Eksenel kesit, makrosferik şekil (N.140), X10
 Şekil 10. Ekvatoryal kesit, makrosferik şekil (N.141), X9
 Şekil 11. Dış görünüş, makrosferik şekil (N.142), X9
 Şekil 12. Eksenel kesit, makrosferik şekil (N.143), X12

LEVHA III





KAYSERİ GÜNEYDOĞUSU (SARIZ) PLİYÖSEN OSTRAKOD VE GASTROPOD FAUNASI

Ümit ŞAFAK, Atike NAZİK ve Muzaffer ŞENOL*

Ç.Ü.Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Adana / Türkiye

*M.T.A. Doğu Akdeniz Bölge Müdürlüğü, Adana / Türkiye

ÖZET: Sarız dolayında (Kayseri GD'su) Kambriyen-Kuvaterner zaman aralığında çökelmiş jeolojik birimler yer almaktadır. Bu araştırmada; bölgede göl-akarsu ortamında çökelmiş, krem-beyaz renkli, siltli-çakıllı kiltaşından oluşmuş Pliyosen yaşta Evciköy formasyonunun ostrakod faunası incelenmiştir. İnceleme sonunda Pliyosen düzeylerini karakterize eden ostrakodlardan 7 cins ile 8 tür ve gastropodlardan 4 cins ile 2 tür saptanmıştır. Ayrıca bu çalışmada bulunan yeni tür *Ilyocypris sarizensis* n.sp. olarak tanımlanmıştır.

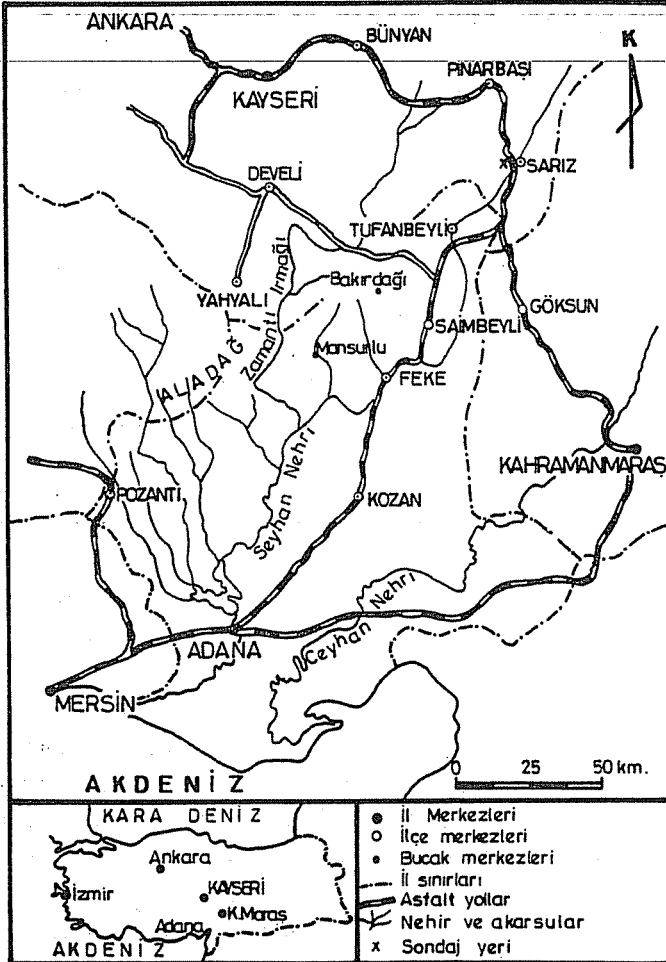
PLIOCENE OSTRACODA AND GASTROPODA FAUNAE OF SOUTHEASTERN KAYSERİ (SARIZ)

ABSTRACT: Geological units deposited in Cambrian-Quaternary time interval are cropped out in Sarız region (SE of Kayseri). In this study, ostracode fauna of the Pliocene aged Evciköy formation consisting of silty-pebbly claystone, cream-white in colour, deposited in lake-fluvial environment has been studied. As a result of this study, 7 genera and 8 species of Ostracoda and 4 genera and 2 species of Gastropoda characterizing Pliocene have been obtained. In addition, the new species found in this study has been described as *Ilyocypris sarizensis* n.sp.

1. GİRİŞ

İnceleme alanı Doğu Toroslarda Kayseri ilinin güneydoğusunda Sarız dolayındadır (Şekil1). Sarız ve dolayındaki birimler genel jeoloji, paleontoloji ve petrol açısından pek çok araştırmacı (1,2,3,4,5,6) tarafından detaylı olarak incelenmiştir. Çalışmaya konu olan Pliyosen yaşlı Evciköy formasyonu paleontolojik olarak ilk defa çalışılmış, ostrakod içeriği saptanmış ve tanıtılmıştır. Adı geçen formasyona ait örnekler MTA tarafından 1990 senesi yazında yapılan sondaj karotlarından derlenmiştir. Sondaj yeri 1/25 000 ölçekli Elbistan L36-b2 topografik paftasında X:80.821,90; Y:62.486,20; Z:1608,47 koordinatlarındadır.

Ostrakod ve gastropod faunasının yer aldığı Evciköy formasyonu (7); Sarız batısında, tabanda bulunan Pliyosen öncesi, Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı kireçtaşları üzerine diskordan olarak oturur. Formasyon alt bölümlerde çakıltaşı ile başlayan ve üste doğru



Şekil.1: İnceleme alanının yer bulduru haritası.

SARIZ (KAYSERİ) PLİYÖSEN'İ OSTRAKOD VE GASTROPOD FAUNASI

SİSTEM		LİTOLOJİ		PALEONTOLOJİ	
SERİ	FORMASYON	KALINLIK (m.)	ÖRNEK NO.		
PLİYOSEN	EVCİKÖY	204,25			
			17	Killi - siltli çakıl	
			16		
			15		
			14	Siltli - çakıllı kil.	Valvata (Cincinna) sp. Chara Hydrobia ventrosa Monfort Ilyocypris sarizensis nsp. Candona (Candona) decimai Freels. Candona (Candona) parallelata pannonica Zolanyi Candona (Candona) neglecta Sars Eucypris dulcifons Diabel ve Piatrzenuik Ilyocypris bradyi Sars Ilyocypris gibba Ramdohr Candona (Casiocypris) aff. alta Zolanyi
			13		
			12		
			9		
			8		
			7		
			6		
			5		
			4		
			3		
			2		
			1		
				Ayrışma yüzeyi toprak materyali	
				Pliyosen öncesi birimler	

Şekil 2 : Sarız yöresinde sondajla kesilen istifin kesiti

SARIZ (KAYSERİ) PLİYOSEN İ OSTRAKOD VE GASTROPOD FAUNASI

Y A Ş	T E R S İ Y E R						K U V A T E R N E R		
	AKITANİYEN	BURDIGALİYEN	LANGİYEN	SERRALİYEN	(HELVESİYEN) TORTONİYEN	MESSİNİYEN	PLİYOSEN	PLEYİSTOSEN	HOLOSEN
OSTRAKODLAR									
Ilyocypris bradyi Sars.					x x	x . x . x . x . x . x .			x . x . x . x . x . x .
Candona(Candona)paratella pannonica Zalani	x . x . x .			x - x - x - x .	+++	x . x . x . x .			
Candona (Candona)neglecta Sars.						x . x . x . x .			x x x x x x x x x x x . x . x . x . x . x . x . x .
Ilyocypris gibba Ramdohr									
Candona(Candona)decimal Freels						x . x . x . x . x . x . x .			
Eucypris dulcifons Diebel ve Pietrzyniuk	x . x .	x . x .	x . x .	x . x .	x . x .	x . x . x . x . x . x . x .			x x x x x x x x x x x . x . x . x . x . x . x . x .
Ilyocypris sarizensis n.s.p						x . x . x . x . x . x . x .			
Candona (Casiocypris)aff. alta Zalani					x . x .	x . x .			

— İngiltere
 - - - - - Almanya
 ||||| Fransa
 ||||| Hollanda
 x x x x İtalya
 Yugoslavya
 x . x . x . x . Türkiye
 x - x - x - Macaristan
 + + + + + Çekoslovakya
 + . + . + . + . Romanya
 - - - - - Sovyetler Birliği

Şekil. 4. Sariz kesisinde saptanan ostrakod türlerinin stratigrafik ve paleoçografik dağılımı.

beyaz, gri ve yeşil renkli siltli, çakıllı kiltaş birimlerini içeren göl-akarsu çökellerinden oluşmaktadır. Bu birimin üzerine Kuvaterner yaşlı akarsu seki çakıltaşları ve vadi tabanı çakıl ve kil dolguları gelmektedir (Şekil 2).

Yaylacık formasyonu içerisinde ostrakodlardan; *Ilyocypris gibba* (Ramdhor), *Ilyocypris bradyi* Sars, *Ilyocypris sarizensis* n.sp., *Candona* (*Candona*) *neglacta* Sars, *Candona* (*Candona*) *parellela pannonica* Zalanyi, *Candona* (*Candona*) *decimai* Freels, *Candona* (*Caspiocypris*) aff. *alta* Zalanyi, *Eucypris dulcifons* Diebel ve *Pietrzenuik* saptanmıştır (Şekil 3). Ayrıca *Ilyocypris*'in yeni türü tanımlanarak tüm faunayla birlikte stratigrafik konumu verilmiştir. Aynı düzeylerde bulunan gastropodlar ise; *Valvata* (*Cincinna*) sp., *Valvata* sp., *Hydrobia ventrosa* Monfort, *Gyraulus* (*Gyraulus*) *inornatus* (Brusina) (Levha V) olup, birim karofitleri de içermektedir (Şekil 2). Çalışmada saptanan faunaya göre birime Pliyosen yaşı verilmiştir.

Bu formasyonun ostrakod içeriği, stratigrafik ve paleocoğrafik olarak Türkiye'de ve dünyada yapılan diğer ostrakod çalışmaları ile denştirilmiştir (Şekil 4). Ayrıca birimin gastropod içeriğinin (8)'un Yalova'da ve (9)'un Gelibolu'da yaptığı çalışmalara benzerlik gösterdiği gözlenmiştir. Çalışma ile saptanan ostrakodların belirlediği ortam (10) ve tuzluluk dereceleri (11) yanı sıra gastropod içeriğine göre birimin karasal ortamda, kapalı, bağlantısız yerel çukurluklarda, tatlı, oligohalin tuzlulukta çökeldiği sonucuna varılmıştır.

2. SİSTEMATİK

Bu çalışmada saptanan ostrakodların sistematığı (12)'a göre uygulanmıştır.

Alt sınıf	OSTRACODA Latreille, 1806
Takım	PODOCOPA Sars, 1866
Altakım	CYPRIDACEA Baird, 1845
Familiya	ILYOCYPRIDIDAE Kaufmann, 1900
Cins	Ilyocypris Brady ve Norman, 1889
Tür-tip	Cypris gibba Ramdohr, 1808

Stratigrafik yayılımı: Triyas-Güncel

Ortam: Tatlıdan oligohaline kadar değişebilen tuzlulukta ve çoğunlukla çamurlu diplerde

***Ilyocypris bradyi* Sars, 1890**

Levha 1, Şekil 1

1890 *Ilyocypris bradyi* Sars, s.59

1992 *Ilyocypris bradyi* Sars, Şafak, s. 25, lev.5, Şekil 5

Stratigrafik ve paleocoğrafik dağılımı: Yugoslavya, Pleyistosen(13); S.S.C.B. Azerbeycan-Türkmenistan, Pliyosen(14); Türkiye, Güncel(15), Ponsiyen(16), Pliyosen (17).

Bulunduğu yerler ve stratigrafik düzey: Sarız kesiti; S-6, S-10, S-12, Pliyosen

Ilyocypris gibba (Ramdohr,1908)

Levha 1, Şekil.2

1908 **Ilyocypris gibba**(Ramdohr), s.91, lev.3, şek.13-17

1992 **Ilyocypris gibba** (Ramdohr), Şafak, s.25, lev.5, şek.5

Stratigrafik ve paleocoğrafik dağılımı: Kuzey Amerika, Pleyistosen (18); İngiltere, Pleyistosen (19,20); Almanya, Helvesiyen-Tortoniyen (21), Pleyistosen(22-23); Fransa, Pliyosen (24); Hollanda, Holosen (25); İtalya, Pleyistosen(26); Yugoslavya, Üst Oligosen-Kuvaterner (27), Pleyistosen (28); S.S.C.B. Pliyosen (14); Türkiye, Ponsiyen (11,16), Pliyosen (17).

Bulunduğu yerler ve stratigrafik düzey: Sarız kesiti, S-6, Pliyosen

Ilyocypris sarizensis n.sp.

Levha II, Şekil 1-7

Adın kökeni: Kayseri ili. Sarız ilçesi

Holotip: Kapak (Erkek), Koleksiyon no:1

Paratip: 25 kapak

Tip-lokalite: Sarız, Sarız sondajı (1/25 000) ölçekli Elbistan L 36-b₂ topoğrafik paftada X: 80 821.90; Y: 62 486,20; Z: 1608,47 koordinatlarında)

Yaş: P l i y o s e n

Tanım: Kavkı yandan görünümü yassı, ön kenar yuvarlak, arka kenar ön kenara nazaran daha küt yuvarlanmış. Dorsal kenar düz, ventral kenar içbükey. En büyük yükseklik ve genişlik ön ortada. Heriki kapakta iki derin sulki bulunmaktadır. Birisi kabuk ortasından çıkıp sırt kenarına doğru uzanan ikincisi ise diğerine uyumlu olarak ön bölgeye doğru yine sırt kenarına yönelik uzun olan sulkilerdir. Kabuğun yan görünümünde ve orta bölgede arka sulki uç kısmında yuvarlak büyük bir çukurluk ve etrafında ise birkaç küçük çukurluk bulunmaktadır. Sırt görünümünde ön uç arkaya göre sivri fakat arka uç oldukça küttür. Yine kapakların yan görünümünde ön sulkinin kavkı ortasında çıktığı bölgede arka sırt kenarından başlayıp arka kenardan karın bölgesine kadar devam eden bir setle sınırlanmış olup, düzlüğün üzerindeki süsler diğer bölgelerde yer alan hemen hemen beşgenimsi retiküllerden büyük ve derin , aynı zamanda kostüllüdür.

Şarniyer adont olup, sağ kapağın sırt kenarındaki set, sol kapağın sırt kenarındaki oluğa yerleşmekte.

Kas izleri Cyprididae familyasına özgüdür. Mandibül izleri ise kavkı ortasında büyük çukurluğa yerleşmiştir.

Kenar zonu dar, kenar delik kanalları ince ve düzdür. Vestibülü dar olup, önde daha belirgindir.

Seksüel dimorfizm belirgin. Dişi formlar erkek formlardan daha şişman ve yüksek

Bulunduğu yerler ve stratigrafik düzey: Sarız kesiti; S-8, S-9, Pliyosen

Familiya CANDONIDAE Kaufmann, 1900

Altfamiliya CANDONINAE Kaufmann, 1900

Cins Candona Baird, 1845

Altçins Candona (Candona) Baird, 1845

Tür-tip Cypris candida Mueller, 1776

Stratigrafik yayılımı: ? Eosen-Oligosen-Güncel

Ortam: Tathısu, bazı türleri de oligo-meiozohalin sular

Candona (Candona) decimai Freels, 1980

Levha II, Şekil 3,4 ; Levha III, Şekil 1

1963 Candona angulata Müller; Decimai, s.94, lev.3, şek. 1-8

1980 Candona (Candona) decimai n.sp. Freels, s.94-97, lev.16, şek.12-19

1988 Candona (Candona) decimai Freels, Nazik, s.79, lev.4, şek.12-13

Stratigrafik ve paleocoğrafik dağılımı: Sicilya, Pleyistosen; Türkiye, Üst Miyosen -Alt Pleyistosen (28), Ponsiyen (16)

Bulunduğu yerler ve stratigrafik düzey: Sarız kesiti, S-8, S-9, S-10, S-11, S-12, Pliyosen

Candona (Candona) parallela pannonica Zalanyi, 1959

Levha III, Şekil 2

1959 Candona parallela pannonica Zalanyi, s.200-202, lev.3, şek.a-c

1989 Candona (Candona) parallela pannonica Zalanyi; Tanar, s.143, lev.11, Şek.1-3

Stratigrafik ve paleocoğrafik dağılımı: Macaristan, Üst Pannoniyen (30)Çekoslovakya, Tortoniyen (32);Türkiye, Ponsiyen (11,16), Üst Oligosen- Burdigaliyen (31).

Bulunduğu yerler ve stratigrafik düzey: Sarız kesiti, S-6, S-8, S-9, S-10, S-11, S-12, Pliyosen

Candona (Candona) neglecta Sars, 1925

Levha III, Şekil 3-4

1925 Candona neglecta Sars; Sars. Account, s.73, lev. 34, şek.1

1988 Candona (Candona) neglecta Sars; Nazik, s.80, lev. 4, şek.4-6

Stratigrafik ve paleocoğrafik dağılımı: hollanda, Holosen (25); İtalya, Kuvaterner (26); Türkiye, Ponsiyen (16), Pleyistosen (29).

Bulunduğu yerler ve stratigrafik düzey. Sarız kesiti, S-6, S-8, S-9, S-11, S-12,

Pliyosen

Altçins *Candona (Caspioypris)* Mandelstam

Tip-tür *Bairdia candida* Livental, 1929.

Stratigrafik yayılımı: Miyosen-Pliyosen ?

Ortam: Tatlı su-brahik

Candona (Caspioypris) aff. *alta* (Zalanyi, 1929)

Levha III, Şekil. 5; Levha IV, Şekil. 1

1929 *Paracypris alta* n.sp, Zalanyi, s.44, fig. 14

1971 *Candona (Caspioypris)* aff *alta* (Zalanyi, 1929), Freels, s.35,lev.4 fig.1-8

Stratigrafik ve paleocoğrafik dağılımı: Türkiye, Üst Miyosen (29); Romanya, Ponsiyen (33)

Bulunduğu yerler ve stratigrafik düzey: Sarız kesiti, S-8, Pliyosen

Altfamilya *EUCYPRIDINAE* Bronstein, 1947

Cins *Eucypris* Vavra, 1891

Tür-tip *Monoculus virens* Jurine, 1820

Stratigrafik yayılımı: Üst Kretase-Güncel

Ortam: Tatlı su

Eucypris dulcifons Diebel ve Pietrzenuik.1969

Levha IV, Şekil. 2-5

1969 *Eucypris dulcifons* n.sp. Diebel ve Pietrzenuik, s.479, Abb. 9, lev. 9, lev. 9, şek.5-8

1988 *Eucypris dulcifons* Diebel ve Pietrzenuik, Nazik, s.86, Lev.6, Şek. 5-8

Stratigrafik ve paleocoğrafik dağılımı: Doğu Almanya, Orta Pleyistosen (34, 35); S.S.C.B. Orta Pliyosen-Genç Kuvaterner (36); Türkiye, Alt Miyosen-Kuvaterner (29), Ponsiyen (16).

Bulunduğu yerler ve stratigrafik düzey: Sarız kesiti, S-7, S-8, S-10, S-11, S-12

Pliyosen

Bu çalışmada saptanan gastropodların sistematigi (37,38)'e göre uygulanmıştır.

Şube	MOLLUSCA
Sınıf	GASTROPODA Cuvier,1797
Altsınıf	PROSOBRANCHIA Edward,1848
Ordo	ARCHAEOGASTROPODA Theile,1925
Üstfamilya	VALVATACEA
Familya	VALVATIDAE
Cins	Valvata O.F. Müller,1774
Altçins	Cincinna Ferussac,1821

Valvata (Cincinna) sp.

Levha V , Şekil 3-5

Kabuk çok küçük, küreden uzamış şekilli ve kıvrık. En uzun kıvrım büyük ve kuvvetli yuvarlanmış olup toplam yüksekliğin 3/4'ünü almakta. Ağız yuvarlaktan hafifçe uzamış, kolumel kenar kalın ve derin oyulmuş.

Örnek bu özellikleriyle *Valvata (Cincinna)*'ya benzemektedir. *Valvata (Cincinna) neglecta* Brusina'dan kabuk genel formunun daha uzun kıvrımlanmasıyla ayrılmaktadır.

Boyutlar : Yükseklik: 1.4 mm

Genişlik: 1 mm

Bulunduğu yerler ve stratigrafik özellikler: Sarız kesiti 129.50 m'si, P l i y o s e n

Valvata sp.

Levha V , Şekil 6

Örnek, kuvvetli küresel yuvarlanması itibariyle *Valvata* cinsine benzemektedir. Tur sayısının az olması dolayısıyla örneğe tür verilememiştir.

Boyutlar:Yükseklik: 1 mm

Genişlik: 1.2 mm

Bulunduğu yer ve stratigrafik düzey: Sarız kesiti, 129.50 m 'si, P l i y o s e n

Altsınıf EUTHYNEURA

Familya PLANORBIDAE

Altfamilya PLANORBINAE

Tribe PLANORBEAE

Cins *Gyraulus* Chapentier, 1837

***Gyraulus (Gyraulus) inornatus* (Brusina, S., 1902)**

Levha V , Şekil 1-2

1902-*Planorbis inornatus*, Brusina, S., pl. III , Fig. 4951

1980-*Gyraulus (Gyraulus) inornatus* (Brusina, S., 1902), Taner, s.12, pl.II, Fig.4-4a

Stratigrafik ve palocografik yayılımı: Macaristan'da Üst Pannoniyen,Türkiye'de Yalova

ve çevresinde Ponsiyen (9)

Bulunduğu yerler ve stratigrafik düzey: Sarız kesiti 129.50 m'si, P l i y o s e n

SONUÇLAR

Bu araştırmada Sarız yöresinden alınan Yaylacık formasyonunun kesildiği sondaja ait örneklerde bilinen 7 ve bir yeni tür olmak üzere 8 ostrakod türü saptanmıştır. Bu yeni ostrakod türü, *Ilyocypris sarizensis* n.sp olarak adlandırılmıştır. Birimde ostrakodların yanısıra gastropod ve Chara'ların bulunmasıyla da ortam tatlı su özelliğindedir (Şekil 5) (29,39,40). Özellikle *Ilyocypris* ve *Candona* cinslerinin bulunması, aynı zamanda ortamın oligohalin tuzlulukta olduğunu yansıtmaktadır.

S İ S T E M	S E R İ	F O R M A S Y O N	T U Z L U L U K – O R T A M		
			% 0.5 – 3 O L İ G O H A L İ N T A T L I S U	% 0.3-8 (10) M İ Y O H A L İ N A C I S U	
T E R S İ Y E R	P L İ Y O S E N	E V C İ K Ö Y	Candona (Candona)	—	—
			Ilyocypris	—	—
			Eucypris	—	—
			Ilyocypris	—	—
			Candona (Candona)	—	—
			Ilyocypris	—	—
			Candona (Casiocypris)	—	—
			Candona (Candona)	—	—
			Eucypris	—	—
			Ilyocypris	—	—

Şekil 5 : Çalışma alanı Pliyosen İstifinde (Yaylacık Formasyonu) yer alan ostrakodların belirledikleri ortamlar ve tuzluluk dereceleri. (11, 16)

KATKI BELİRTME

Yazarlar, araştırmaya sağladıkları olanaklardan dolayı MTA Doğu Akdeniz Bölge Müdürlüğüne ve elemanlarına, Ç.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dekanlığına ve Jeoloji Mühendisliği Bölüm Başkanlığına teşekkürü borç bilirler. Ayrıca mikrofosil fotoğraflarının çekimini gerçekleştiren Fethi Sabunsoy ve çizimlerin hazırlanmasına emeği geçen Hayriye Yıldır'a teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

1. Blumenthal, M.M., *Kayseri ile Malatya arasındaki Toros bölümünün Permokarbonifer arazisi. M.T.A.Dergisi No. 1/31, s.105, 1944.*
2. Baykal, F., *Malatya-Kayseri arasındaki Torosların Jeolojik yapısı M.T.A.Rapor No. 1703, 1944.*
3. Yalçınlar, İ., *Structures geologiques de la region de Feke-Saimbeyli, İstanbul Üniversitesi Jeoloji Enst. Rev. (Inst. Ed. No.13 (1970-71) page 55-56. 1955.*
4. Demirtaşlı, E., *Pınarbaşı-Sarız-Mağara ilçeleri arasındaki sahanın litostratigrafi birimleri ve petrol imkanları. Rapor No. 4389 (Yayımlanmamış), 1967.*
5. Özgül, N., Metin, S., Dean, W.T., *Doğu Toroslarda Tufanbeyli İlçesi (Adana) dolayının Alt Paleozoyik stratigrafisi ve faunası. M.T.A.Dergisi Sayı. 72, s.9-17, 1972.*
6. Metin, S., *Doğu Toroslarda Derebaşı (Develi), Armutalan ve Gedikli (Saimbeyli) Köyleri arasının Jeolojisi, İstanbul Üniv. Müh.Fak. Yerbilimleri Dergisi, C.4, s.1-6, 45-66, 1984.*
7. Özgül, N., Metin, S., Erdoğan, B., Göğer, E., Bingöl, I. ve Baydar, O., *Tufanbeyli dolayının (Doğu Toroslar, Adana) Kambriyen-Tersiyer kayaları, TJK Bült., 16, 82-100, 1973.*
9. Taner, G., *Das Neogen in der Umgebung Yalova, Communications de la Faculte des Sciences de l'Universite d'Ankara, Tome 23, 1980.*
10. Taner, G., *Die Molluskenfauna und Pliozän Stratigraphie des Halbinsel-Gelibolu, Tome 25, Serie C1: Geologie, 1982.*
11. Gökçen, N., *Denizli-Muğla çevresi Neojen istifinin stratigrafisi ve Paleontolojisi. Doçentlik Tezi, H.Ü., Ankara, 178 s, 1979.*
12. Hartmann, G., and Puri, H., *Summary of neontological and paleontological, classification of Ostracoda Mitt. Hamburg Zool., Mus. Inst., 70, 7-73, 1974.*
13. Krstic, N. and Obradovic, J., *Contribution to the knowledge of the Pleistocene along the djure djaovica street in Belgrade, Extrait des comptes rendus des seances de la societe serbe de geologie, 91-98, Belgrad. 1980.*
14. Agalarova, D.A., *Microfauna from roductive beds in Azerbaijan and Red Depozids in Türkmenistan. Türkmen SSR., Ylymlar Akademiiasy, Geol. Inst., Ashgabat, s.1-190,*

1956.

15. Gülen, D., *The species and distribution of the group PODOCOPA (OSTACODA-CRUSTACEA) in the fresh waters of western Anatolia, İst. Univ. Fen. Fak. Mec. Seri B, 50: 65:80, 1985.*

16. Nazik, A., *Ulukışla Tersiyer istifinin stratigrafik ve mikropaleontolojik (foraminifer ve ostrakod) incelemesi, Ç.Ü. Fen Bil. İnst., Doktora Tezi, 128 s, 8 lev. (Yayımlanmamış), 1988.*

17. Şafak, Ü., *Yayladağ-Altnozü (Antakya) ve civarı Tersiyer istifinin stratigrafik ve mikropaleontolojik incelenmesi, Ç.Ü. Rektörlüğü Araştırma Projesi, MMF 9015, Adana (Yayımlanmamış), 1992.*

18. Delorme, *Paleoecological determinations using Pleistocene freshwater ostracodes. Bull. Centre Rech. Pau-SNPA, 5, 341-347, 1971.*

19. Siddiqui, Q., *Early Tertiary Ostracoda of the family Trachyleberididae from West Pakistan-Bull. British Museum (Natural History) Geol. Supp. 9:1-95, 1971.*

20. Whatley, R.C. and Kaye, P., *The palaeoecology of Eemian (last interglacial) Ostracoda from Selsey, Sussex. Bull. Centre Rech. Pau-SNPA, 5: 311-330. 1971.*

21. Straub, E.N., *Mikropaleontologische Untersuchungen im Tertiär zwischen Ehingen und Ulm an der Donau. Geol. Jahrb, 66: 433-524, 1952.*

22. Triebel, E., *Zur Morphologie und Oekologie des fossilen Ostracodes Mit Beschreibung einiger neuen Gattungen und Arten. Senckenbergiana Lethaea, 23 (4-6): 294-400, 1941.*

23. Luttig, G., *Die ostrakoden des Interglazials von Elze. Paleont. Zeits., 29 (3-4), 146-169, 1955.*

24. Carbonnel, C., *Les ostracodes du Miocene Rhodanien: Systematique biostratigraphie, ecologique, paleobiologie. These et Docum. Lab. Geol. Sci. Lyon, 32: 1-2. 1-469, 1969.*

25. Wagner, C.W., *Sur les ostracodes du Quaternaire recent des Pays-Bas et sur leur utilisation dans l'etude geologique des depots Holocenes. Mouton Co., The Hague, 1-259, 1957.*

26. Devoto, G., *Lacustrine Pleistocene in the Lower Liri Valley (Southern) Latium. Geologica Romana, roma, 4, 291-368, 1965.*

27. Malez, M., Sokac., *New conception on the age of the freshwater deposits of Ervenik and Zegar fields in Dalmatia Bull. Scientifique, A, 13 (11-12), 371, 1968.*

28. Gagic, N., ve Sokac, A., *Fauna Ostracoda Paludinskih naslaga vukomedickin gorica. VII. Kongres geologa sfr. Jugoslavie-ZAGREB 28, 9, 1979, s.1311-1148, 1970.*

29. Freels, D., *Limnische Ostacodes aus Jungtertiär und Quaternär Turkei., Geol. Jahr. Reihe B, Heft 39, Hannover, 1-172, 1980.*

30. Zalani, P., *Tihapyi felső pannon ostracodak (Oberpannonische Ostracoden aus Tihany)* Hungary, Magyar Allami Földt. Int. Evk., Budapest, 48 (1): 195-239, 1959.
31. Kheil, J., *Die Ostrocoden der Mydlovary Schichtenfolge im südböhmischen Trebon-Becken* Sbornik Geol., V ed, r.p. 4, 6-46, 1963.
32. Tanar, Ü., *Mut Havzası Tersiyer İstifinin stratigrafik ve mikropaleontolojik (Ostrakod ve foraminifer) incelemesi*, C.Ü. Fen Bilimleri Enst. Doktora Tezi, 199s, 12 Lev. Adana, 1989.
33. Hanganu, E. *Observations sur l'ostracofaune pontienne de la region entre la vallee du Danube et la vallee du Motru*, Rev., Espanola Micropaleont., 6, 3: 335-345, 3 Taf., Madrid, 1974.
34. Diebel, K. ve Pietrzenuik, E., *Ostracodes aus dem Mittelpleistozaen von Süßenborn bei Weimar.*, Palaont., Abh. A, 3, 3/4: 463-488, 12 Abb., 1969.
35. Diebel, K. ve Pietrzenuik, E., *Mittel- und Jungpleistozaen Ostrakodenfaunen des Raums Ptsdam-Brandenburg-Rathenow in stratigraphischer und oekologischer Sicht.*, Z. geol Wiss., 3, 9. 1197-1233, 2 Abb, 7 Taf. Berlin (Akad-Verl.), 1975.
36. Kazmina, T.A., *Stratigrafija i ostakody Pliocena i rannago plejstocena yuga Zagadno-Sibirskoj ravniny (Stratigraphie und Ostrakoden aus dem Pliozaen und frühen Pleistozaen des Südens Der wastsibirischen Ebene.)*, Akad. Nauk SSSR. Sibirskoe otdel. rud. Inst. Geol. Geofiz. 264, 108s., 27 Tab., 10 Abb. Novosibirsk, 1975.
37. Moore, R.C., *Tretaise on Invertebrate Paleontologie*. Geological Society of America and University of Kansas Press. Kansas, 1964-69.
38. Wenz, W., *Gastropoda, Handbuch der Palaeozoologie*, Bd. 6, Teil I, Berlin, 1938-44.
39. Morkhoven, F.P.M.van, *Post Paleozoic ostracoda*. Elsevier edit, 1:1-244, 1962.
40. Morkhoven, F.P.M.van, *Post Paleozoic Ostracoda*, Elsevier edit, 2:1-478, 1963.

LEVHALAR

LEVHA I

Şekil 1: *Ilyocypris bradyi* Sars

1. Sağ kapak, dıştan görünüm, x76, 11 no'lu sondaj örneği

Şekil 2: *Ilyocypris gibba* (Ramdohr)

2. Sol kapak, dıştan görünüm, x77, 12 no'lu sondaj örneği

Şekil 3-4: *Candona (Candona) decimai* Freels

3. Sağ kapak, dıştan görünüm, x58, 12 no'lu sondaj örneği
4. Sol kapak, içten görünüm, x58, 12 no'lu sondaj örneği

LEVHA 1

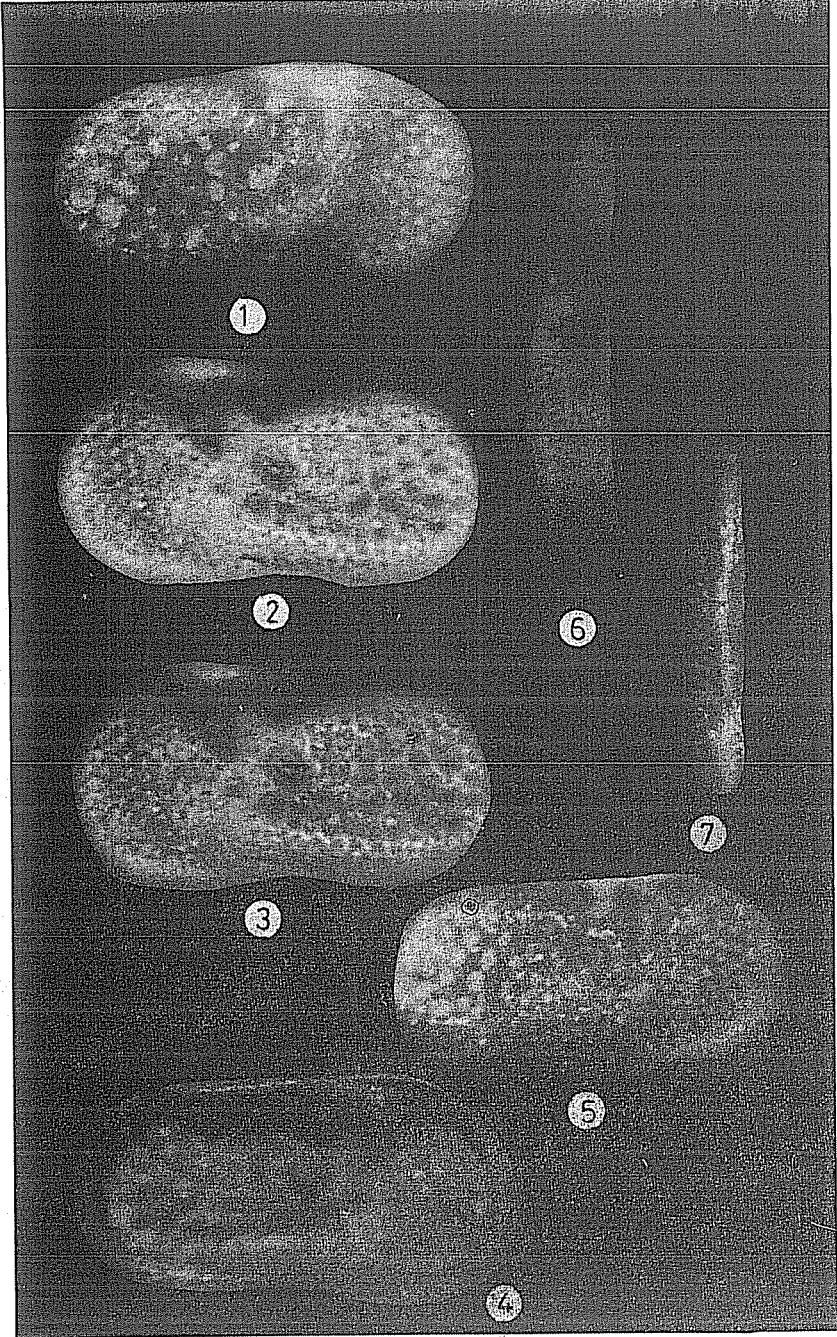


LEVHA II

Şekil 1-7: *Ilyocypris sarizensis* n.sp

1. Sağ kapak, dıştan görünüm, Holotip (♂), X72, 8 no'lu sondaj örneği
 2. Sol kapak, dıştan görünüm, Paratip, (♀), X80 8 no'lu sondaj örneği
 3. Sol kapak, dıştan görünüm, Paratip, (♀), X 80, 9 no'lu sondaj örneği
 4. Sağ kapak, içten görünüm, Holotip, (♂), X 72, 8 no'lu sondaj örneği
 5. Sağ kapak, dıştan görünüm, Paratip, (♂), X66 , 9 no'lu sondaj örneği
 6. Sol kapak, sırttan görünüm, Paratip, (♀), X80, 8 no'lu sondaj örneği
-

LEVHA II



LEVHA III

Şekil 1: Candona (Candona) decimai Freels

1. Sağ kapak, içten görünüm , X56, 12 no'lu sondaj örneği

Şekil 2: Candona (Candona) parallela pannonica Zalanyi

2. Sağ kapak, yandan görünüm, X77, 12 no'lu sondaj örneği

Şekil 3-4: Candona (Candona) neglecta Sars

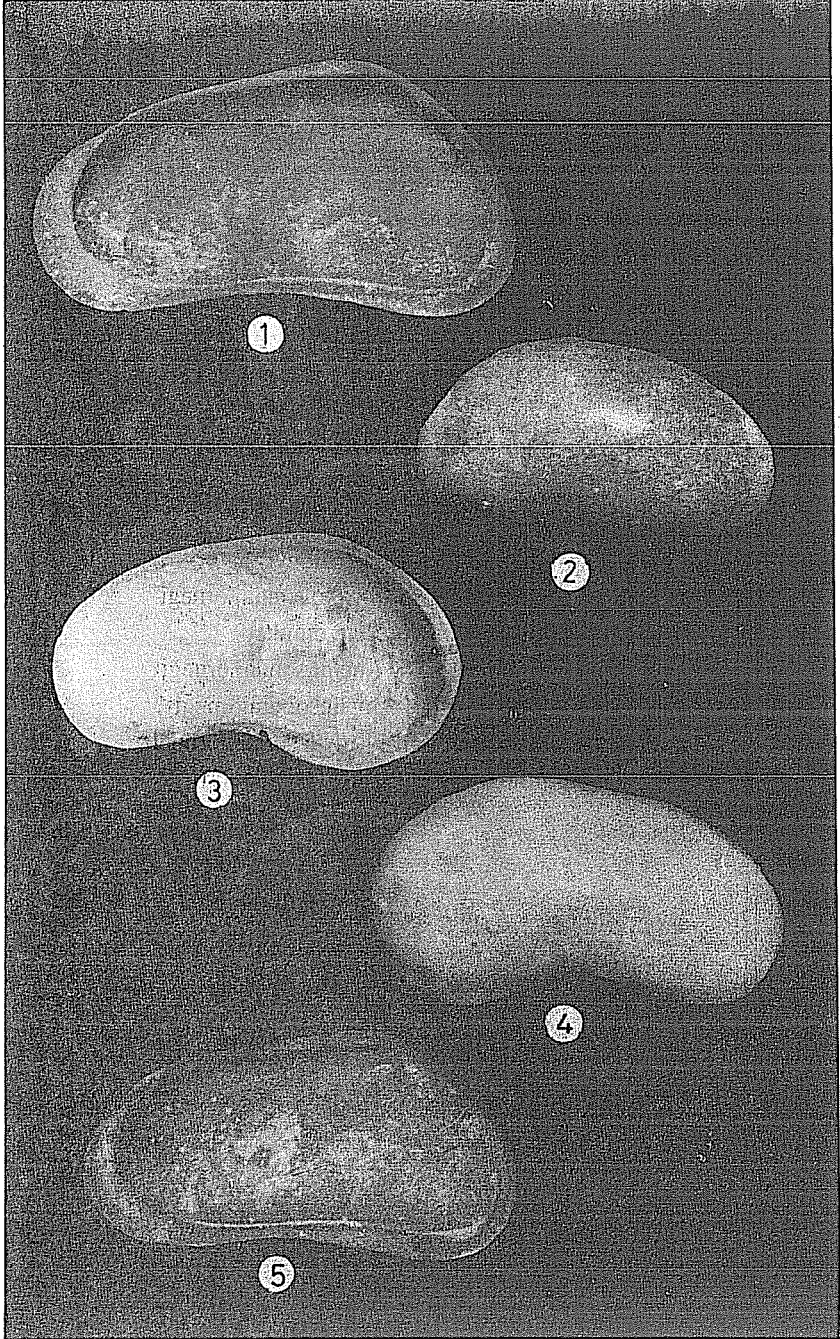
3. Sağ kapak , içten görünüm, X56, 10 no'lu sondaj örneği

4. Sağ kapak, dıştan görünüm, X56, 10 no'lu sondaj örneği

Şekil 5: Candona (CaspioCypris) aff. alta (Zalanyi)

5. Sol kapak, içten görünüm, X61,8 no'lu sondaj örneği
-

LEVHA III



LEVHA IV

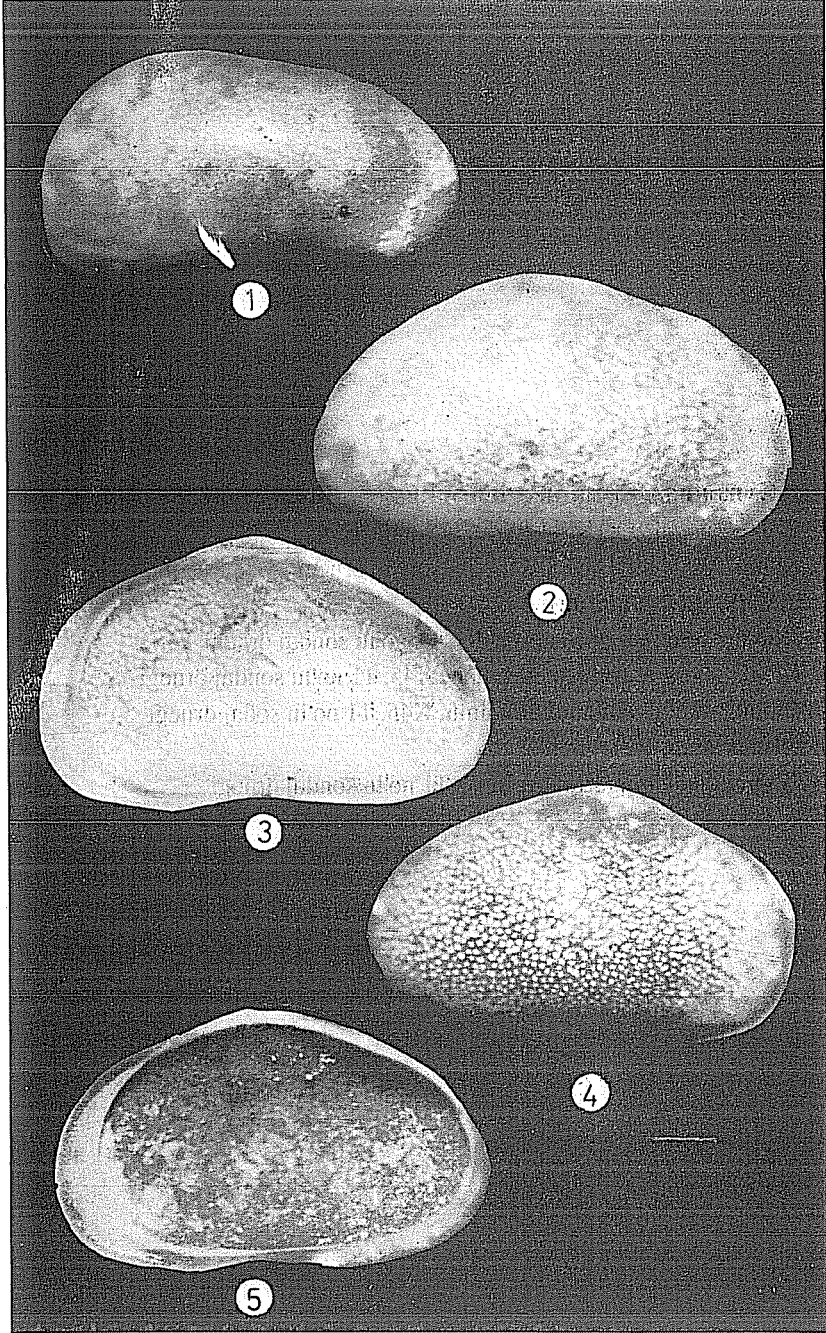
Şekil 1: Candona (Casiocypris) aff.alta (Zalanyi)

1. Sol kapak, dıştan görünüm, X 55, 8 no'lu sondaj örneği

Şekil 2-5: Eucypris dulcifons Diebel ve Pietrzenuik

2. Sağ kapak, dıştan görünüm, X56, 7 no'lu sondaj örneği
3. Sağ kapak, içten görünüm, X56, 7 no'lu sondaj örneği
4. Sol kapak, dıştan görünüm, X50, 11 no'lu sondaj örneği
5. Sağ kapak, içten görünüm, X50, 11 no'lu sondaj örneği

LEVHA IV



1941
1942
1943
1944
1945

LEVHA V

Şekil 1-2: *Gyraulus (Gyraulus) inornatus* (Brusina)

1. Kabuk üst yüzeyi, X55, 11 no'lu sondaj örneği
2. Kabuk alt yüzeyi, X55, 11 no'lu sondaj örneği

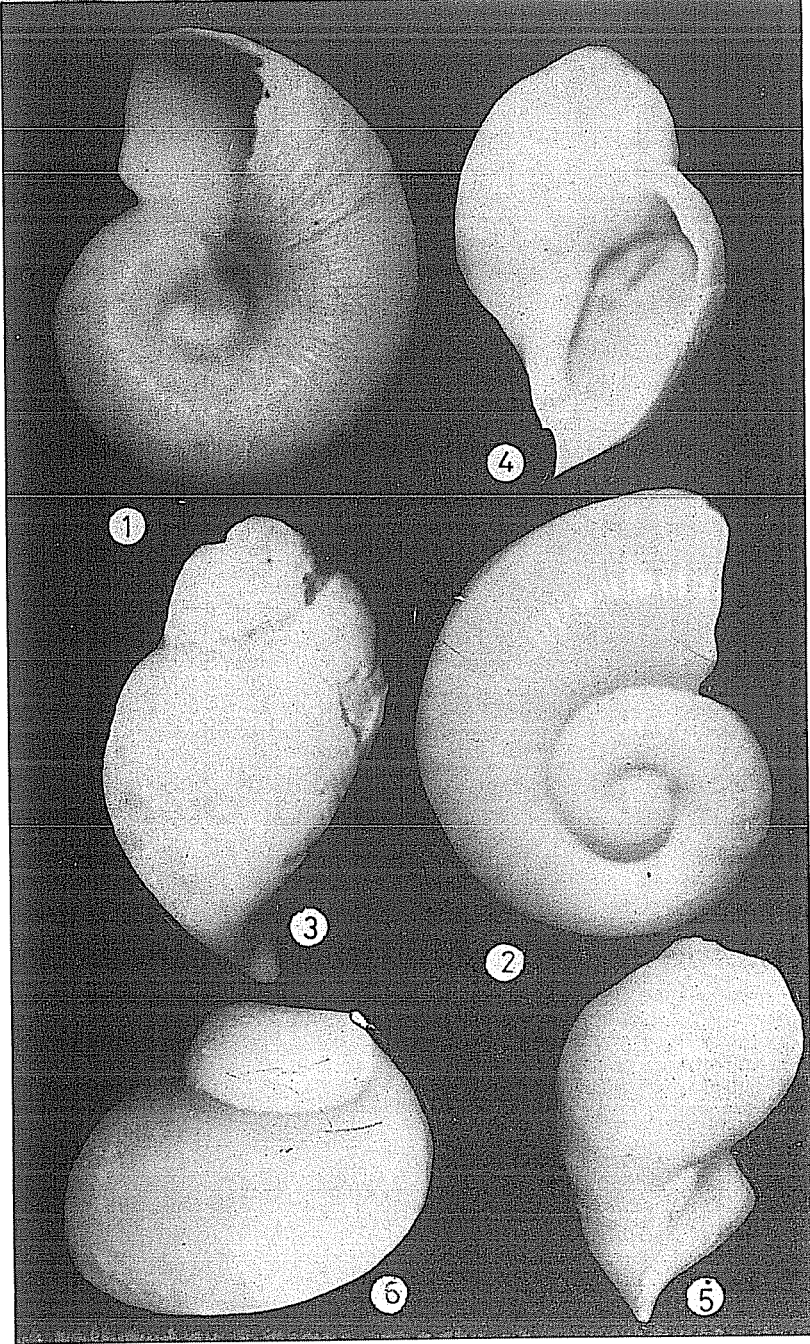
Şekil 3-5: *Valvata (Cincinna)* sp.

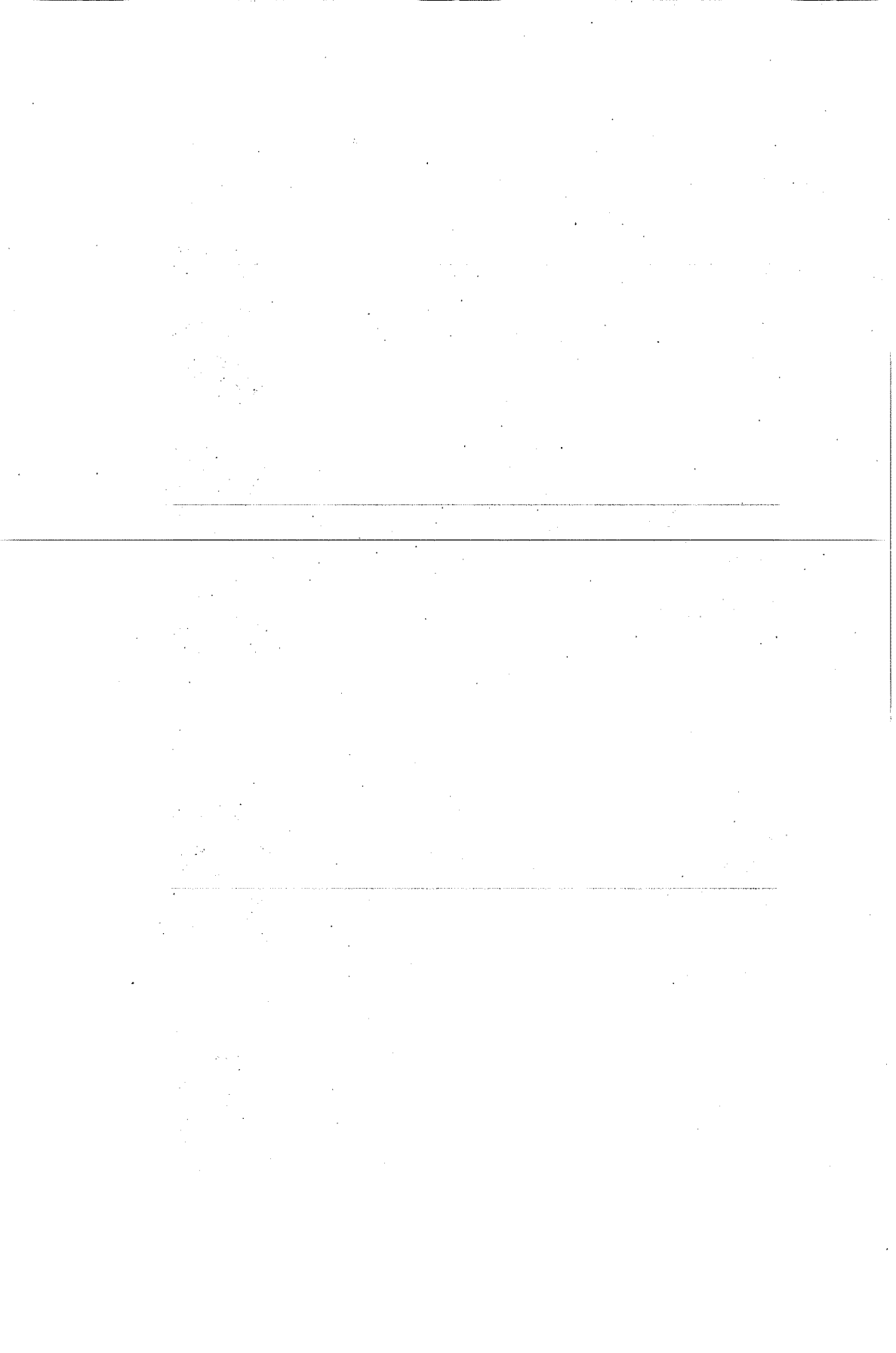
3. Kabuk, arkadan görünüm, X45, 11 no'lu sondaj örneği
4. Kabuk, ağız tarafından görünüm, X45, 11 no'lu sondaj örneği
5. Kabuk, ağızın yandan görünümü, X45, 11 no'lu sondaj örneği

Şekil 6: *Valvata* sp.

6. Kabuk, yandan görünüm, X52, 11 no'lu sondaj örneği

LEVHA V





KOÇLAR-KARAMANLI-ZİYARET TEPE (BERTİZ-KAHRAMANMARAŞ) KURŞUN-ÇİNKO YATAKLARI

Mustafa AKYILDIZ ve Mesut ANIL

Çukurova Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Adana / Türkiye

ÖZET : Bu çalışmada Bertiz (Kahramanmaraş) yöresinde bulunan kurşun-çinko cevherleşmeleri incelenerek bölge stratigrafisi hakkında genel bilgi sunulmuştur. Bölgede allokton ve otokton özellikteki birimler yüzeilenmektedir. Allokton birimler Paleozoyik yaşlı Malatya Metamorfiti, Üst Kretase yerleşim yaşına sahip Berit Metaofiyoliti ve Eosen yaşlı Gozlu Formasyonundan oluşmaktadır. Otokton birimler ise genellikle çakıtaşı, litarenit ve şeyl ardalanmasından oluşan Alt-Orta Miyosen yaşlı Lice, Beşenli ve Bertiz formasyonlarıdır.

Kurşun-çinko cevherleşmesi Malatya Metamorfileri içerisinde kırık, çatlak, fay ve karstik boşluklara bağlı olarak gözlenmektedir. Parajenezde galenit, sfalerit, kalkopirit gözlenmekle beraber ekonomik cevher minerallerini Simitsonit, Anglezit, Seruzit oluşturur. Ayrıca yer yer ileri derecede limonitleşmeler görülür. Yataklanmanın oldukça düzensiz bir dağılım göstermesi tenör bakımından satılabilirlik sınırı üstünde olan bu bölgedeki çinko-kurşun cevherleşmesinin ekonomik değerini sınırlamaktadır.

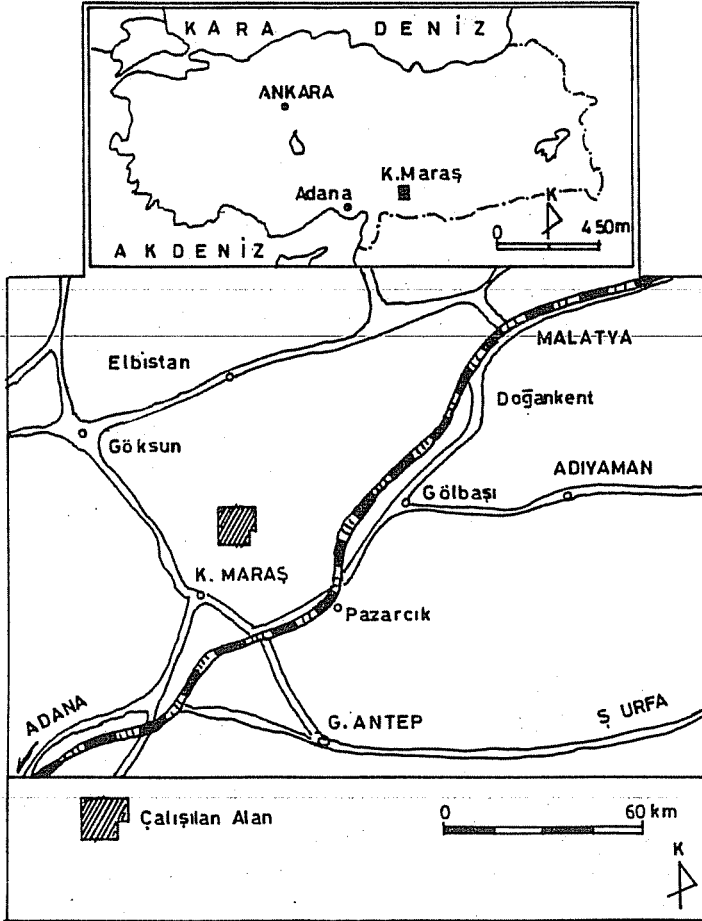
LEAD-ZINC DEPOSITS OF KOÇLAR-KARAMANLI-ZİYARET TEPE (BERTİZ-KAHRAMANMARAŞ)

ABSTRACT : In this study, lead-zinc mineralization of Bertiz (Kahramanmaraş) area is examined, and general information is given about regional stratigraphy. In study area, allochthonous and autochthonous units crop out: Allochthonous units are Paleozoic aged Malatya Metamorphics, Upper Cretaceous aged Berit Metaophiolite and Eocene aged Gozlu formation. Autochthonous units, composed of conglomerate, litarenite and shale, are Lower-Middle Miocene aged Lice, Beşenli and Bertiz formations.

Lead-zinc mineralization is observed in Malatya Metamorphics which are cracks, fractures, fault zones and Karstic cavities. In the paragenesis, galenite, sphalerite and chalcopryrite minerals are observed. In addition, secondary mineralization that contains smithsonite, anglesite, cerussite and limonite are economically valuable. The mineralization has a rather irregular distribution, so the area which has a tenor over the limits of operation is limitation economically valuable of the mineralizations.

1. GİRİŞ

İnceleme alanı Bertiz (Kahramanmaraş) bölgesinde, Karamanlı, Baydemirli, Koçlar ve Ziyaret Tepe arasında yer almaktadır (Şekil 1).



Şekil 1- Çalışma alanının yer bulduru haritası

Bölgenin Jeolojisi ile ilgili olarak Hatay (1), Gözübol ve Gürpınar (2), Tarhan (3,4), Önalın (5,6), Baydar (7), Yıldırım (8) ve Yiğitbaşı (9) gibi birçok araştırmacı tarafından muhtelif çalışmalar yapılmıştır. Daha sonra yörede bulunan maden yatakları ile ilgili ilk çalışmalar Hompur-Eskiyayla mevkiinde görülen Baritli kurşun yatakları ve Engizek Karbonat Platformu kontağı boyunca izlenen Pb-Zn-Ba cevherleşmeleri Anıl (10,11) tarafından incelenmiştir.

Koçlar-Karamanlı yöresinde bulunan Pb-Zn cevherleşmesi hakkında bugüne kadar ayrıntılı bir inceleme ortaya konmamıştır. Bu çalışmada sözü edilen cevherleşme ayrıntılı olarak incelenmiş ve jenezi ile ekonomik değeri hakkında gerekli bilgiler verilmiştir.

2. JEOLJİK KONUM

2.1 Stratigrafi

İnceleme alanında Paleozoyik'ten Orta Miyosen'e kadar gelişmiş farklı birimler saptanmıştır. Bunlar Malatya Metamorfileri, Berit Metaofiyoliti ve Gozlu formasyonundan oluşan allokton birimler ile Lice, Beşenli ve Bertiz formasyonlarından ibaret olan otokton birimlerdir (Şekil 2).

2.1.1 Allokton Birimler

Malatya Metamorfiti

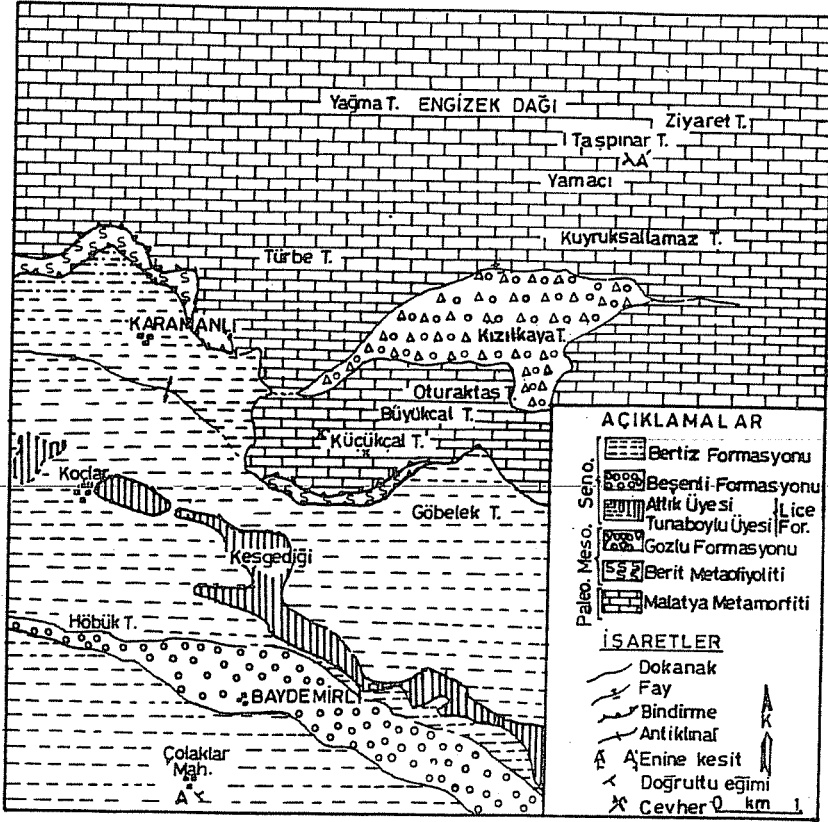
Mermer, dolomit, rekristalize kireçtaşları, kalkşist, meta kuvarsit ve fillatlardan oluşan istif ilk olarak Arni (12) tarafından adlandırılmıştır. Birim çalışma alanının kuzey kesimlerinde geniş bir alanda yüzeylenmektedir. Metamorfitlerin altında uyumsuz olarak Berit Metaofiyoliti bulunmaktadır. Buna karşılık üstünde yine uyumsuz olarak Gozlu formasyonu yer almaktadır (Şekil 2). Malatya metamorfiti beyaz-gri-kurşuni, sarımsı boz ve açık mavi renkli kireçtaşı, kalkşist, dolomitik kireçtaşı, rekristalize kireçtaşları ve seyrek olarak görülen kuvarsitlerden ibarettir. İnceleme alanında birime yaş verecek yeterli fosil bulunamadığından, önceki araştırmacıların çalışmalarından yararlanılarak Üst Permien -Jura yaşı verilmiştir (8).

Berit Metaofiyoliti

Berit dağı civarında tipik olarak gözlenen ultramafikler, mafik kümülatlar, som veya levhalanmış diyabaz istiflerinden oluşan birim Perinçek ve Kozlu (13) tarafından adlandırılmıştır.

İnceleme alanında Küçükçal Tepe'nin güneyi ve Karamanlı köyünün kuzey kesimlerinde yüzeylenmektedir. Berit Metaofiyoliti tabanında uyumsuz olarak Lice formasyonu ve tavanında ise yine uyumsuz olarak Malatya Metamorfiti ile dokanak oluşturmaktadır (Şekil 2). Birim tektonik hareketlere maruz kalmasından ve şaryaj esnasında ters dönmeden dolayı tam bir ofiyolitik istif sunmamaktadır. Çalışma sahasında yeşil, zeytin yeşili, koyu yeşil ve kahve renklerde tanımlanabilen tektonikler genellikle serpantinize olmuşlardır.

Bölgede ofiyolit birliğe ait kayaç olarak en çok metagabrolar görülmektedir. Bunlar kahve renkli, grimsi kahverenk ve yeşilimsi tonlarda renk göstermeleri ile ayrt



Şekil 2- İnceleme alanının jeoloji haritası

edilebilmektedir. Deformasyondan dolayı kırıklı yer yer de dağınık bir görüntü sunmaktadır.

Yapılan mikroskopik çalışmalar sonucunda plajiyoklas, amfibol ikincil olarak gelişmiş olan klorit, aktinolit ve kalsit mineralleri saptanmıştır. Önceki araştırmalara dayanılarak birime Üst Kretase yaşı verilmiştir (2-11).

Gozlu Formasyonu

İlk olarak Yıldırım (8) tarafından adlanan birim çalışma alanında Kızılkaya mevkiinde tipik olarak yüzeylenmektedir (Şekil 2). Gozlu formasyonu şaryaj cephesinin en üst yapısal düzeyini oluşturan birim olarak Malatya Metamorfitlerinin üzerinde uyumsuz olarak bulunmaktadır.

Tipik kırmızı rengi ile ayrılan, kırmızımsı-kızıl, gri marn çamurtaşı hamuruyla

sarılmış Permian-Triyas yaşlı mermer parçaları, gri-beyaz kireçtaşı çakıllarından oluşmuştur. Daha önceki araştırmacılar tarafından Eosen yaşı verilmiştir (8).

2.1.2 Otokton Birimler

Lice Formasyonu

İlk defa Schmidt (14) tarafından adlanan Lice formasyonu inceleme alanında Koçlar - Karamanlı ve Göbelek Tepe arasında yüzeylemektedir (Şekil 2). Formasyonun taban dokanağı çalışma alanı içerisinde gözlenememiş olup tavan dokanağı, Beşenli formasyonu ile uyumlu olarak bulunmaktadır.

Lice formasyonu mavimsi-gri, açık kahve ve kurşuni renkli kireçtaşı, şeyl ve litarenit araldanmasından oluşmaktadır. Formasyondan alınan örneklerden şu fosiller tayin edilmiştir.

Borelis sp.

Sorites marginalis (Carpenter)

Lepidocyolina sp.

Globigerina sp.

Textularidae

Rotalidae

Bu fosillere dayanılarak formasyona Alt miyosen yaşı verilmiştir (Fosiller Dr.Avşar tarafından tayin edilmiştir).

Çalışma alanında Lice formasyonunun Tunaboylu ve Atlık üyeleri bulunmaktadır. Tunaboylu üyesi; gri boz renkli, kumtaşı, yeşilimsi boz marn ve grimsi yeşil şeyl araldanmasından oluşmaktadır. Atlık üyesi; formasyonun üst seviyelerinde gözlenen kalın tabakalı krem renkli kireçtaşlarından oluşmaktadır.

Beşenli Formasyonu

İnceleme alanında Baydemirli Köyü ile Höbük Tepe arasında yüzeyleyen birim Önalın (5) tarafından adlandırılmıştır. Formasyon tabanda Lice formasyonu ile tavanda ise Bertiz formasyonu ile uyumlu olarak bulunmaktadır. Formasyon tabanda pembe ve gri renkli çakıltaşları ile başlayıp üst seviyelere doğru gevşek tutturulmuş pembemsi-kırmızı-sarı renkli marn, çamurtaşı, gri renkli kumtaşı ve mavi-yeşil renkli şeyller ile devam etmektedir.

İnceleme alanında fosil bulunmadığı için diğer çalışmalarla yapılan denestirme sonucunda birime Orta-Üst Miyosen yaşı verilmiştir.

Bertiz Formasyonu

Önalın (5) tarafından adlanan birim inceleme alanında Baydemirli Köyü ve Çolaklar

Mahallesinin güney kesimlerinde yüzeylenmektedir. Bertiz formasyonu tabanda Beşenli formasyonu ile uyumlu olarak bulunmaktadır. Formasyon genelde gri, pembe ve kahve renkli litarenit ve şeyl ardalanmasından oluşmaktadır. Daha önceki araştırmacılara dayanılarak Alt-Orta Miyosen yaşı verilmiştir (6).

3. CEVHERLEŞME

Çalışma alanında ekonomik öneme sahip cevherleşme Pb-Zn olup, Küçükçal Tepe ve Karamanlı Köyünün kuzey doğusunda mostra vermektedir. Cevherleşmenin tamamı Malatya metamorfitlelerine ait kireçtaşı içerisinde kırık, çatlak ve karstik boşluklar içerisinde bulunmaktadır.

İnceleme alanındaki cevherleşmeler daha çok simitsonit anglezit, seruzit ve limonit bileşimindeki karbonatlı ve oksitli cevherleşmelerdir. Ekonomik değere sahip simitsonit cevherleşmesi karbonatlı kayacı ornatarak veya daha önce oluşmuş boşluklara yerleştiği için çoğu zaman özsekilsiz tipik böbreğimsi, yollu ve boşluklu yapıda gelişmiştir.

3.1 Mikroskopik Gözlemler

Kurşun-çinko cevher örneklerinden yapılan parlak kesitlerin maden mikroskopunda incelenmesi sonucunda iki tip cevherleşme görülmüştür. Birinci tip cevherleşme sülfür fazına ait olan galenit-sfalerit, pirit ve kalkopirit olup, ikinci tip cevherleşme ise seruzit, anglezit ve simitsonit'ten oluşan karbonatlı ve oksitli cevherleşmelerdir.

Özsekilsiz taneler halinde bulunan sfalerit, galenit tarafından ornatılmış olup kataklazma etkisiyle yer yer parçalanmıştır. Yarı özsekilli-özsekilsiz taneler halinde bulunan galenit tipik üçgenimsi kamalar sunmakta ve kenar çatlak ve kırıklar boyunca seruzit ve anglezite dönüşmüştür. Küçük özsekilsiz kristaller halinde bulunan kalkopirit, neodijanit ve kovelline pirit'te ise limonitleşme gözlenmektedir.

3.2 Cevherleşmenin Jenezi

Çalışma sahasında görülen cevher zonlarının metalojenik açıdan ilk incelemeler Anıl (11) tarafından yapılmıştır. Ocaklarda oksitli ve karbonatlı cevherler içerisinde yer yer galenit kristalleri gözlenir. Bölgedeki Pb-Zn cevherleşmesi için birincil kökeninin sülfürlü bir yataklanma olduğu söylenebilir.

Permo-karbonifer'den Jura sonuna kadar çökelen karbonat bileşimli kayaçların içerisinde Tersiyer'e kadar ulaşan fay, kırık, çatlak ve erime boşlukları muhtemelen Miyosen'den itibaren tüm Engizek karbonat platformunu etkileyen asidik volkanizmanın Pb-Zn'ca zengin çözeltileri bu süreksizlik zonlarına yerleşmişlerdir. İncelenen cevher zonları içinde galenitin hakim olduğu cevher tipinde oluşum ortamının yüksek indirgen özellikte olduğudur. Sfaleritin içerisindeki Fe içeriği (kırmızı renkli izotropi sunması) taşınma sırasında ortamın ısısının düşük olmadığının göstergesidir.

Ocakta bulunan birincil galenitin ikincil karbonatlı kısmın ortasında görülmemiş olsaydı

karstik model düşünülebilirdi. Bu durumda birincil sülfür cevherlerinin dönüşümü ile oluşan ikincil cevherleşmelerde tamamlanamamış bir transformasyonu işaret ettiği söylenebilir. Eğer karbonatlı ve oksitli cevherleşmelerin oluşumunda karstik bir çevre bulunuyorsa bunun birincil cevherlerin çözünerek çatlak, kırık ve fay zonlarına depolanmış olması gerekir. Simitsonit ve seruzit araldanması ile oluşan yollu yapılarla rastlanılması karstik olaylar sırasında ortamın fiziko kimyasal özelliklerinin sıkça değişime uğradığını belirtmektedir.

4. EKONOMİK JEOLJİ

Bölgede bulunan ocaklar Karamanlı Köyünün kuzeydoğusunda ve Küçükçal Tepe'de bulunan Karamanlı ve Masat ocaklarıdır. Karamanlı ocağı bir süre işletildikten sonra terk edilmiş, halen Küçükçal Tepe'de bulunan Masat ocağı ise işletilmektedir. İşletilen cevher ortalama % 45 tenörlü simitsonit cevherleşmesi olup üretilen cevher doğrudan Çinkur'a satılmaktadır. Ön işletme projesinde 5000 ton görünür, 1 milyon ton muhtemel kurşun-çinko cevherinin varlığı saptanmış ve rezerv aramaları devam etmektedir.

5. SONUÇLAR

Koçlar-Karamanlı Ziyaret Tepe dolayındaki çalışma alanında yer alan birimler allokton ve otokton olmak üzere iki bölümde incelenmiştir.

Allokton olarak bölgeye yerleşen birimler Paleozoyik yaşlı Malatya Metamorfiti, Üst Kretase yaşlı Berit Metaofiyoliti ile Eosen yaşlı Gozlu formasyonudur. Otokton birimler ise Alt Miyosen yaşlı Lice, Orta-Üst Miyosen yaşlı Beşenli ve Alt-Orta Miyosen yaşlı Bertiz formasyonundan oluşmaktadır.

Malatya metamorfileri içerisinde görülen Pb-Zn cevherleşmesi belirli bir tabakalanmaya ve yöne bağlı olmaksızın çatlak, kırık, fay zonu ve karstik boşlukları doldurması nedeniyle düzensiz yataklanma göstermektedir.

İki tip cevherlenme ayrılmış olup bunlar birincil sülfürlü cevherleşmeler ile ekonomik değere sahip ikincil karbonatlı ve oksitli cevherleşmelerdir. Parajenezde birincil olarak sfalerit, galenit, kalkopirit, pirit, ikincil olarak ise simitsonit, anglezit ve seruzit cevherleşmesi saptanmıştır.

Birincil köken olarak sülfürlü bir yataklanma söz konusudur. Miyosen'den itibaren bölgeyi etkileyen asidik volkanizmanın etkisiyle fay, çatlak ve erime boşluklarına yerleşmiştir. İkincil cevherleşme ise birincil sülfürlü minerallerin çözünerek tektonik olaylar sonucu oluşan süreksizlik zonlarına depolanması ile gerçekleşmiştir.

Bertiz bölgesinde bugüne kadar gerçekleştirilen jeolojik çalışmaların çok sınırlı kalması ve bir çok konuda veri eksikliği bulunması sebebiyle tüm bölge için cevherleşmenin jenezi ve yataklanma tipi üzerinde henüz aydınlanmamış bir çok konu bulunmaktadır. Bu sebeble bölgede daha bir çok jeolojik çalışma yapılmalıdır.

6. KATKI BELİRTME

Bu çalışma FBE 91-31 No'lu proje çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Yazarlar projeye destek veren Ç.Ü.Araştırma Fonu ve Ç.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü'ne teşekkür ederler.

7. KAYNAKLAR

1. Hatay,N., Kahramanmaraş-Göksun-Elbistan Bölgesi Diosporit Prospeksiyonu Raporu, MTA Enst. Derleme Raporu (Yayınlanmamış), 1966.
2. Gözübol,A.M. ve Gürpınar,O., Kahramanmaraş Kuzeyinin Jeolojisi ve Tektonik Evrimi, Türkiye 5.Petrol Kongresi 5., 21-29, 1980.
3. Tarhan,N., Göksun-Afşin-Elbistan Dolaylarının Jeolojisi, Jeoloji Müh., 19, s.3-9, 1984.
4. Tarhan,N., Elbistan Enismatik Ada Yayı Çökel Bulguları ve Yaşı, Jeoloji Müh., 23, s.3-9, 1985.
5. Önalın,M., Kahramanmaraş Tersiyer İstifinin-Sedimanter-Özellikleri-ve-Çökelleme Ortamları, İ.Ü.Yer Bilimleri Dergisi 5/1-2, s.39-78, 1986.
6. Önalın,M., Kahramanmaraş Tersiyer Kenar Havzasının Jeolojik Evrimi. T.J.K. Bülteni, 31, s.1-10, 1988.
7. Baydar,O., Berit-Kandil Dağları (Kahramanmaraş) ve Civarının Jeolojisi, İ.Ü.Fen Bilimleri Enst., Doktora Tezi, 1989.
8. Yıldırım,M., Kahramanmaraş Kuzeyindeki (Engizek-Vurhak Dağları) Tektonik Birlikleri Jeolojik, Petrografik İncelemesi, İ.Ü.Fen Bilimleri Enst., Doktora Tezi, 1989.
9. Yiğitbaş,E., Engizek Dağı (Kahramanmaraş) Dolaylarındaki Tektonik Birliklerin Petrolojik İncelemesi, İ.Ü.Fen Bilimleri Enst., Doktora Tezi, 1989.
10. Anıl,M., Les Gisements de Barytine et la Minéralization Plombifère-Zincifère de la Région de Kahramanmaraş, Geosound, 17 bis, 161-173, 1989.
11. Anıl,M., Engizek (Kahramanmaraş Kuzeyi) Baritli, Kurşun ve Çinko Yataklarının Jeolojik, Metalojenik ve Ekonomik İncelemesi (Yayınlanmamış), 1992.
12. Arni,P., Über die Tektonischen Grunzuge Ostanatolines und Benacbarter Gebiete. MTA Yayınları, Seri:B, No:4, 1937.
13. Perinçek,D. ve Kozlu,H., Stratigraphy and Structural Relations of the Units in the Afşin-Elbistan-Doğaneşir Region of Taurus Belt, MTA, p.181-198, 1984.
14. Schmid,G.C., Stratigraphic Nomenclature for the Adana Region Petroleum District, 7.Petroleum Administration Bull., 6., 47-63 s., 1961.

ESA KISA AYAK SİSTEMİ

Sair KAHRAMAN ve Mesut ANIL

Çukurova Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana / Türkiye

ÖZET : *Yeraltı üretim yöntemleri içinde ESA kısa ayak üretim yöntemi oldukça yeni bir uygulama olup, özellikle tektonik arızalar, fazla gaz geliri, yangına karşı aşırı duyarlılık gösteren kömür madenciliğinde başarıyla kullanılmaktadır. 1980'li yılların başından beri başta ABD, Avustralya ve Almanya olmak üzere bir çok ülkede uygulanan bu sistemin ülkemizdeki Zonguldak kömür havzası gibi tektonik arızaların yaygın olduğu kömür sahalarında da denenmesi düşünülebilir.*

ESA SHORTWALL MINING METHOD

ABSTRACT : *A new ESA shortwall mining method has been successfully used for the type of coal-mines which have irregular tectonics, pit fires and gas exposure problems. The method that has been used by many countries, mainly USA, Avusturalia and Germany, since early 1980's, can be considered for the Zonguldak coal basin that has highly irregular tectonics.*

GİRİŞ

Yeraltı üretim yöntemleri oldukça çeşitli olup, bunlar arasında " uzun kazı arınlı üretim yöntemleri, dar kazı arınlı üretim yöntemleri, topuklu üretim yöntemleri, oda-topuk yöntemleri, blok halinde üretim yöntemleri, özel üretim yöntemleri" gibi sistemler sayılabilir (1,2,3). Bu yöntemlerden türeyen ESA Kısa Ayak Yöntemi ilk olarak 1979 yılında Belçika Zolder Kömür Ocağı'nda uygulamaya konulmasından sonra çeşitli ülkelerde yeraltı madencilik faaliyetlerinde başarıyla uygulanmıştır (4). Bu yöntem üzerindeki ilk uygulamalar uzun ayaklarda makina cebi açma ve ayak hazırlığı üzerinde olmuştur. Yöntem, işletme zorluğu bulunan ocaklarda fazla insan gücü gerektiren işleri ortadan kaldırmıştır (4,5).

Kısa ayaklarda ve topuklu üretim yöntemlerinde ESA makinası başarıyla kullanılmaktadır. Bu tip uygulama alanları önceleri Doğu Avrupa ülkelerinde kullanıla gelmiştir (4,5). Günümüzde ESA makinası kemer tipi ve köşeli damar içi yollarını kolaylıkla açabilmektedir. Ayrıca, arınlı beraber sürülen damar içi yollarında ESA'nın arın konveyörü üzerine monte edilebilmesi büyük avantaj sağlar. ESA, ayak uçlarında karşılaşılan her türlü problemin çözümünde de yardımcı olmaktadır (4).

Bu çalışmada ESA kısa ayak sistemi tanıtılarak bazı uygulama örnekleriyle, bu yöntemin avantaj ve dezavantajları belirtilmiştir.

ESA KESİCİ YÜKLEYİCİLERİNİN TANITIMI

ESA makinası esas olarak 5 birimden oluşur. Bunlar;

- * Kesici tambur ve tambur kolu,
- * Tambur kolu rulmanı,
- * Elektrik motoru,
- * Pompa tahrik ünitesi,
- * Makina ve tambur kolu hareket tahrik üniteleri,
- * Şasi'dir.

Bu makina kendisine civatalarla tutturulmuş papuçlar yardımıyla kayabilen şasi tarafından taşınır ve arın tarafındaki kızak kendisine kılavuzluk eder. Makinanın merkezi kısmına yerleştirilmiş olan elektrik motoru tamburu, tambur kolunu ve çekme ünitelerini tahrik ederek onları çalıştırır. İstisna olarak ESA-60-2 modellerinde, yan taraflara yerleştirilmiş elektrik motorlarından biri tamburu, diğeri ise çekme ünitelerinin hidrolik pompalarını tahrik etmektedir.

Çekme üniteleri ile birlikte dişli ray düzeni sistemin hareketli elemanlarını oluşturmaktadır. Makina hidrolik çekme üniteleri tarafından çekilir. Hareket dişlisi arın boyunca kaymayı sağlamak amacıyla göçük tarafında kalacak şekilde dizayn edilmiştir.

ESA-60/60-2 modeli dışındaki bütün tipler tambur kolunun 360° dönmesini sağlayan döner dişli kutusu ile donatılmıştır. ESA-L ve ESA-K modellerinde tambur kolları tavan ve taban boyunca döndürülebilir. ESA-K modelinde üstün bir özellik olarak makina

gövdesinin yükseltilebilme avantajı bulunmaktadır. Bu işlem, makinanın ortasına yerleştirilmiş hidrolik silindirler sayesinde yapılmaktadır. Makinanın hareket hızı ve tambur kolu hızı ortalama 3 m/dk'dır. Kısa ayaklarda yaygın olarak kullanılan ESA-60-L modeli Şekil 1'de ayrıntılarıyla verilmiştir.

KISA AYAK SİSTEMİ

Daha önceleri de literatüre girmiş olmasına rağmen özellikle 1973 petrol krizinden sonra kömür madenciliğinde yeni bir sistem olarak ortaya çıkan bu sistem, uzun ayaklarda kullanılan kazı, nakliyat ve tahkimatın temel prensiplerine dayanmaktadır. Bu sistem damar içi yolu sürme, ayak hazırlığı ve kömür kazısı için yalnızca bir ekipman grubu kullanarak, her türlü damar eğimlerinde uygulanabilmesi bakımından önemlidir (5).

ABD'de petrol krizini takip eden yıllarda, kömür üretimini yükseltmeyi amaçlayan ve klasik oda-topuk metodunda zor şartlarda bırakılan toplukları en aza indirebilen, yürüten tahkimat kullanımına imkan veren, ilk yatırım maliyeti bakımından da % 20'lere kadar ulaşan ekonomik avantaj sağlayan kısa ayak sistemi yoğun bir şekilde uygulanmış ve geliştirilmiştir.

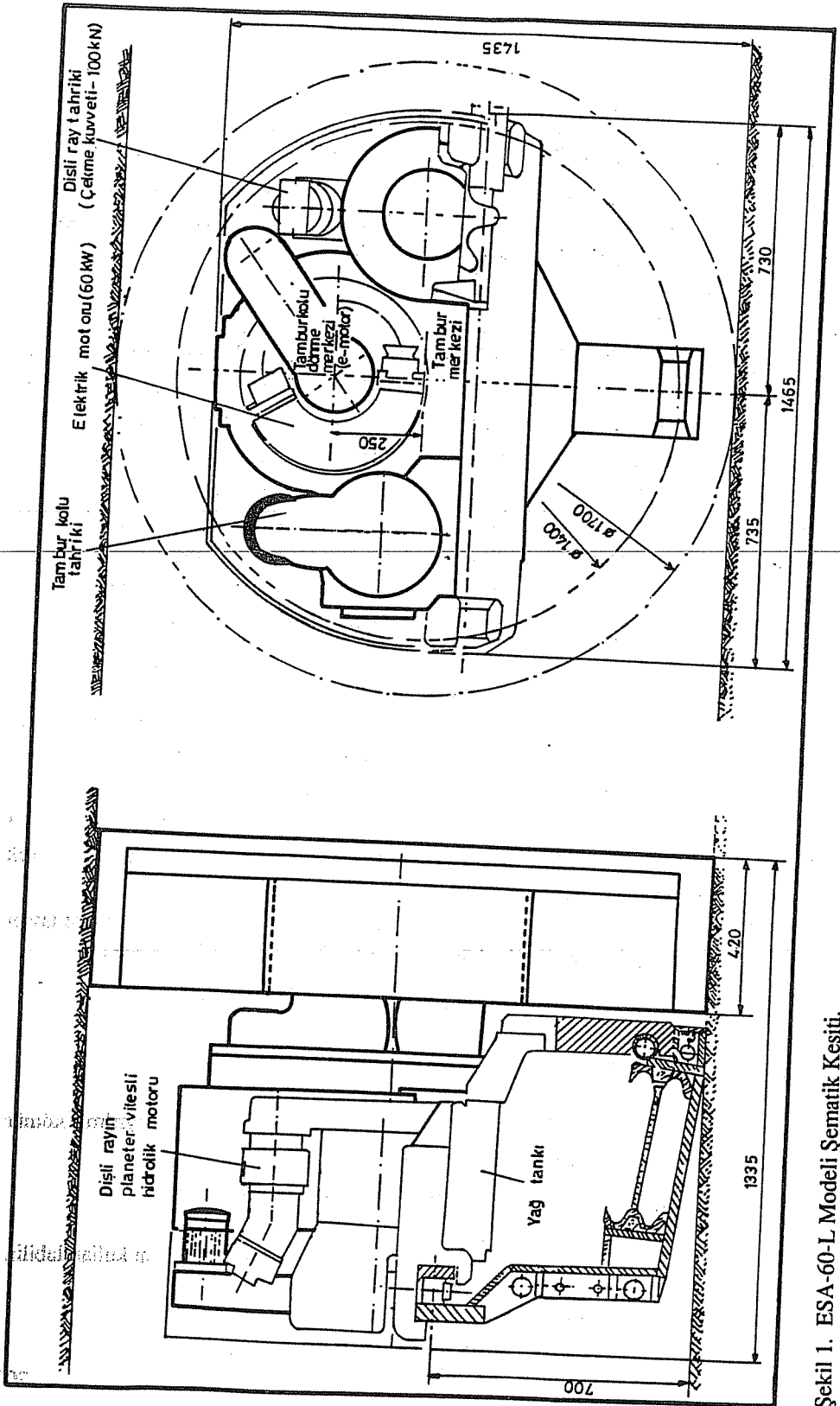
Kısa ayak sisteminde kullanılan ESA-60-L veya ESA-150-L makinaları yaklaşık 50 m'ye kadar olan ayaklarda ekonomik olarak başarıyla uygulanabilmektedir. Ayak uzunluğunun sınırlı olması, çift tamburlu kesici yükleyicilere kıyasla ESA'nın daha düşük hız ve daha az tambur genişliğine sahip olmasındandır. Kısa ayaklarda ESA'nın ekonomik olarak kullanılması, sık sık yapılan pano değişikliklerinde montaj ve taşımının hızlı ve kolay olmasına imkan tanınması kadar, çok küçük ayak açıklığına gerek duymasından kaynaklanmaktadır (4).

Kalın damarlarda çoğunlukla dilimli yöntem uygulanmaktadır (Şekil 2). Yine de tavan kömürünün arkadan göçertme ile alındığı uygulamalar da oldukça yaygındır (4).

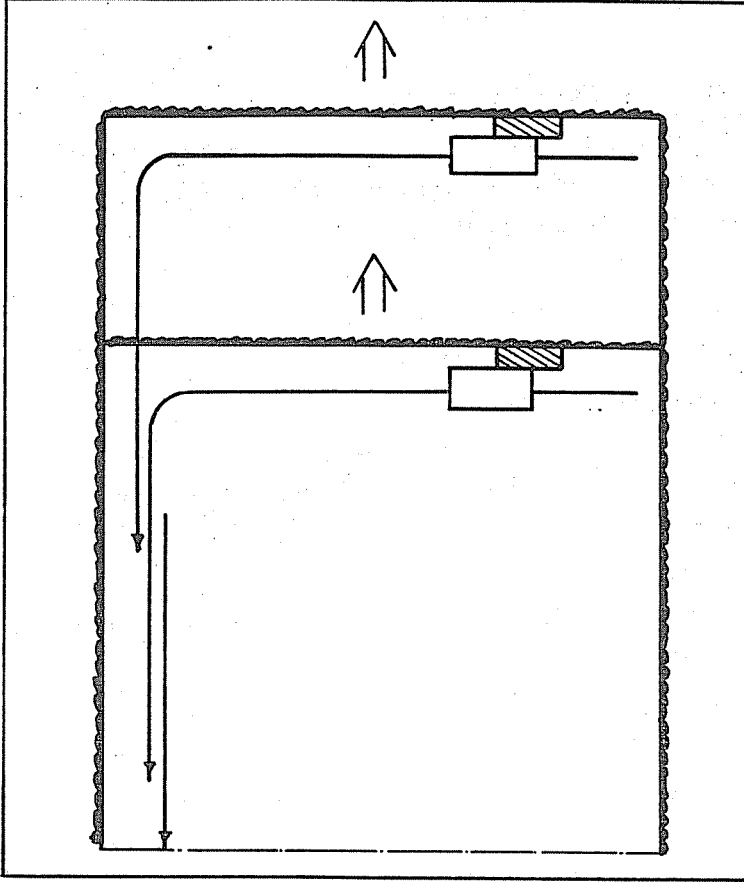
Sistemin avantaj ve dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir (5).

Avantajları;

- * Jeolojik arızalara göre hazırlık yapılarak tektonik olaylar sonucu ayrılmış kömür damarları kolayca kazılabilir.
- * Ayak hazırlığı ve kömür kazısı için aynı ekipman grubu kullanılabilir.
- * Maliyet nisbeten daha düşüktür.
- * Kazı sırasında yürüten tahkimat ve hazırlıklarda anında etkili tahkimat kullanılabilir.
- * Kazı verimi oldukça yüksektir.
- * Sistem daha emniyetlidir.



Şekil 1. ESA-60-L Modeli Şematik Kesiti.



Şekil 2. Dilimli Yöntem.

Bu sistemde yukarıda sıralanan avantajlara rağmen yine de bazı dezavantajlar bulunmaktadır. Bunlar;

- * Topuklu yöntemlerde ara bağlantılar için ayrı bir kazı ekipmanına gerek vardır.
- * ESA, Continuous Miner ve Road-Header gibi hareketli değildir. Bu makina esnekliği sınırlandır ve bir sonraki çalışma yerine geçişte demontaj ve montaj ihtiyacı doğurur.

- * Yüksek kazı veriminin elde edilebilmesi için göçebilir tavana ihtiyaç vardır. Ancak kısmi kazıya kolaylıkla uygulanabilir.

TEK GİRİŞLİ ÜRETİM SİSTEMLERİ

Sistemde damar içi yolu sürme, ayak hazırlığı ve kazı faaliyetlerinin hepsini ESA makinası yapmaktadır. Çalışma şekli ilerletimli veya dönümlü olabilir. Sistemin çalışma prensibi şematik olarak Şekil.3'de verilmiştir.

TEK GİRİŞLİ İLERLETİMLİ KISA AYAK

Damar kalınlığının tambur çapından fazla olduğu durumlarda ESA ile çalışma aşağıdaki gibi başlıca 6 safhada özetlenebilir.

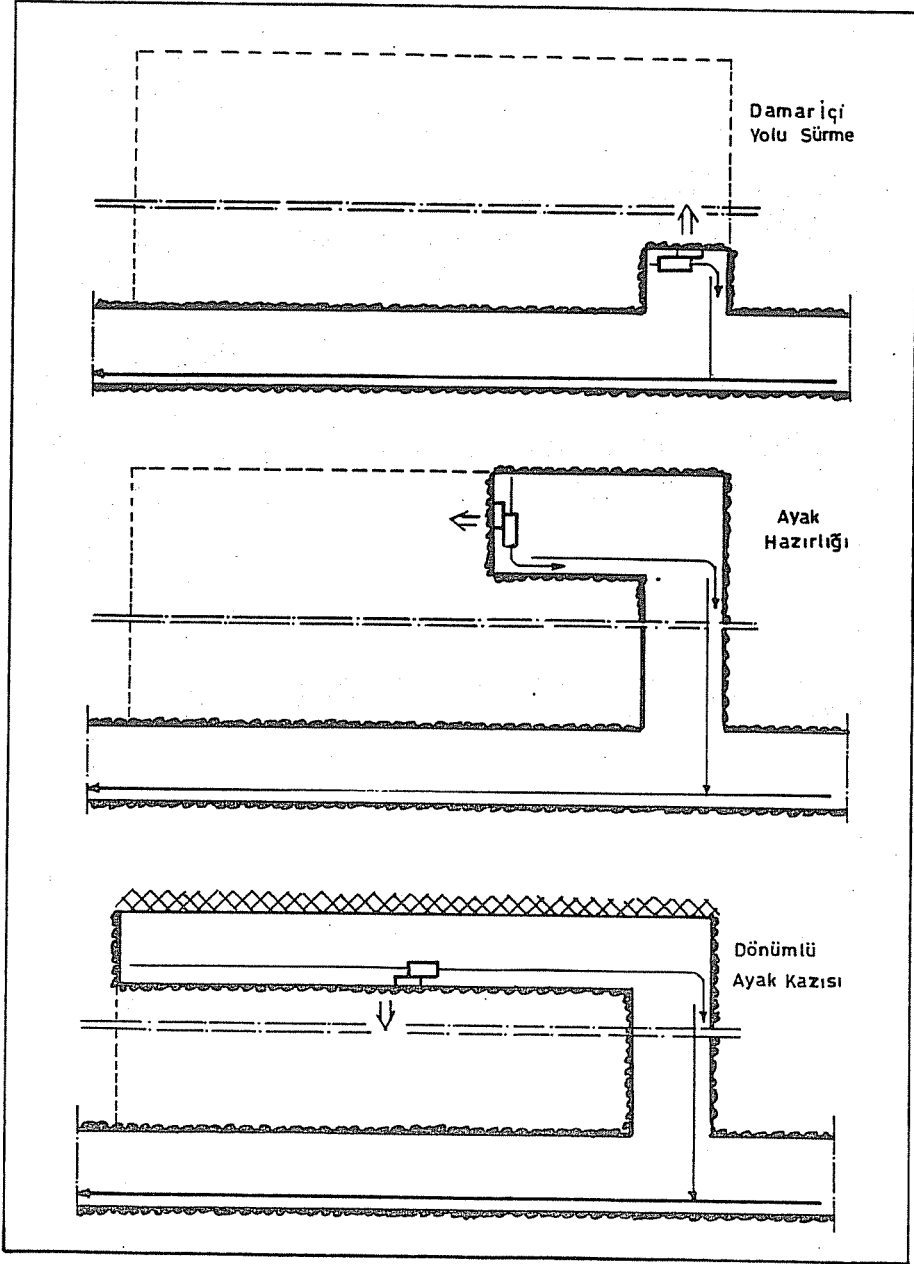
- * Konveyör itildikten sonra makina tavan kazısına başlar
- * Konveyörün ilk safhada itilmeyen kısmı ile ayak başındaki kavisli kısmı itilir. Tambur taban kömürüne daldırıldıktan sonra makina konveyörün eğri kısmına kadar taban kazısı yapar.
- * Konveyörün eğri kısmından sonra makina ayak başına kadar geriye kalan tavan kömürünü kazar.
- * Makina damar içi yolunu (galeri profili) kazar.
- * Tambur tabana indirilir ve makina geriye kalan taban konumu kazar.
- * Makina galeriye kadar taban temizleme işini yapar ve kazı periyodu tamamlanmış olur.

Bu uygulamaya ait düzenek Şekil 4'de verilmiştir.

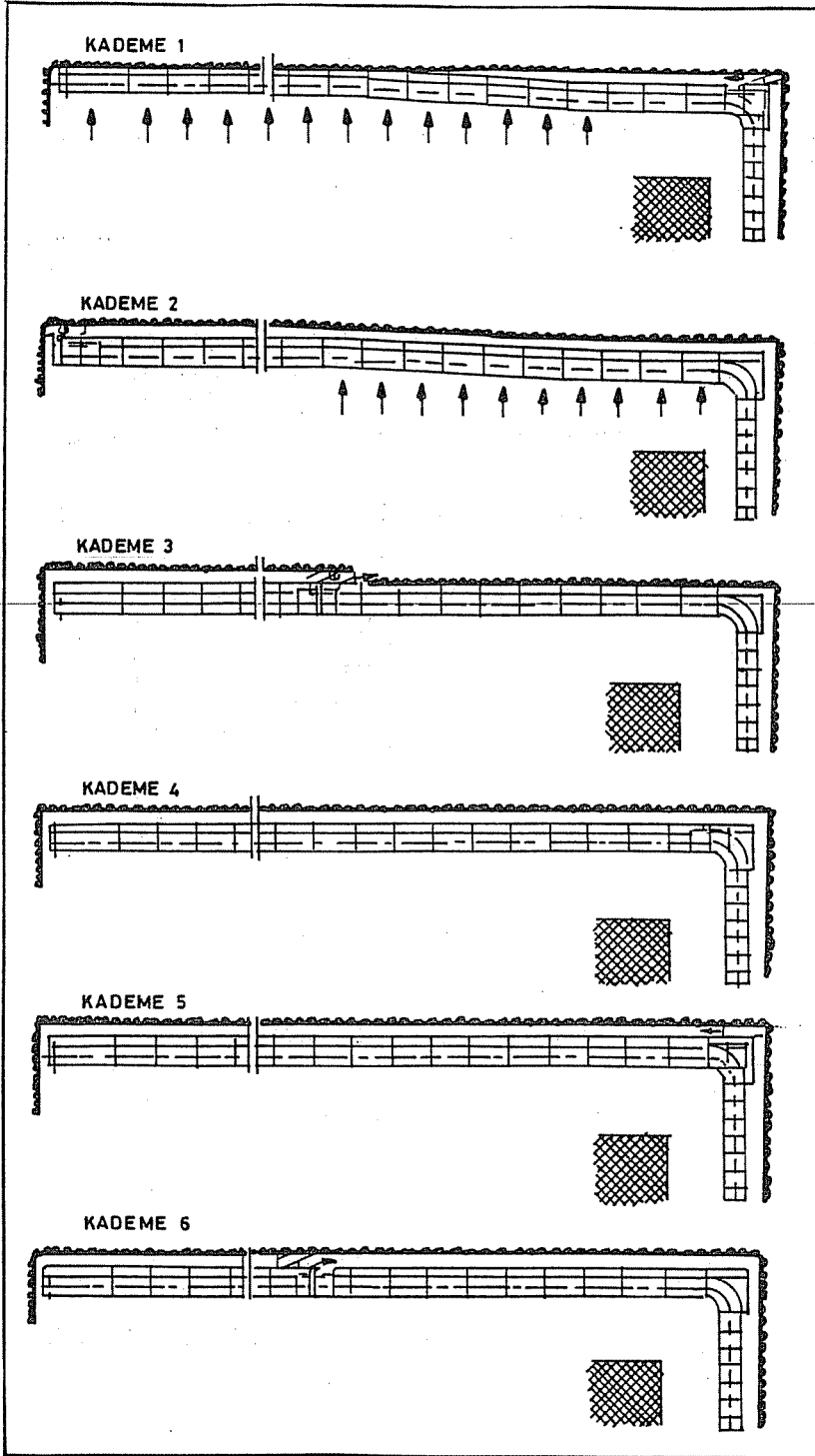
TEK GİRİŞLİ DÖNÜMLÜ KISA AYAK

Damar kalınlığının tambur çapından fazla olduğu durumlarda ESA ile aşağıdaki gibi çalışılmaktadır.

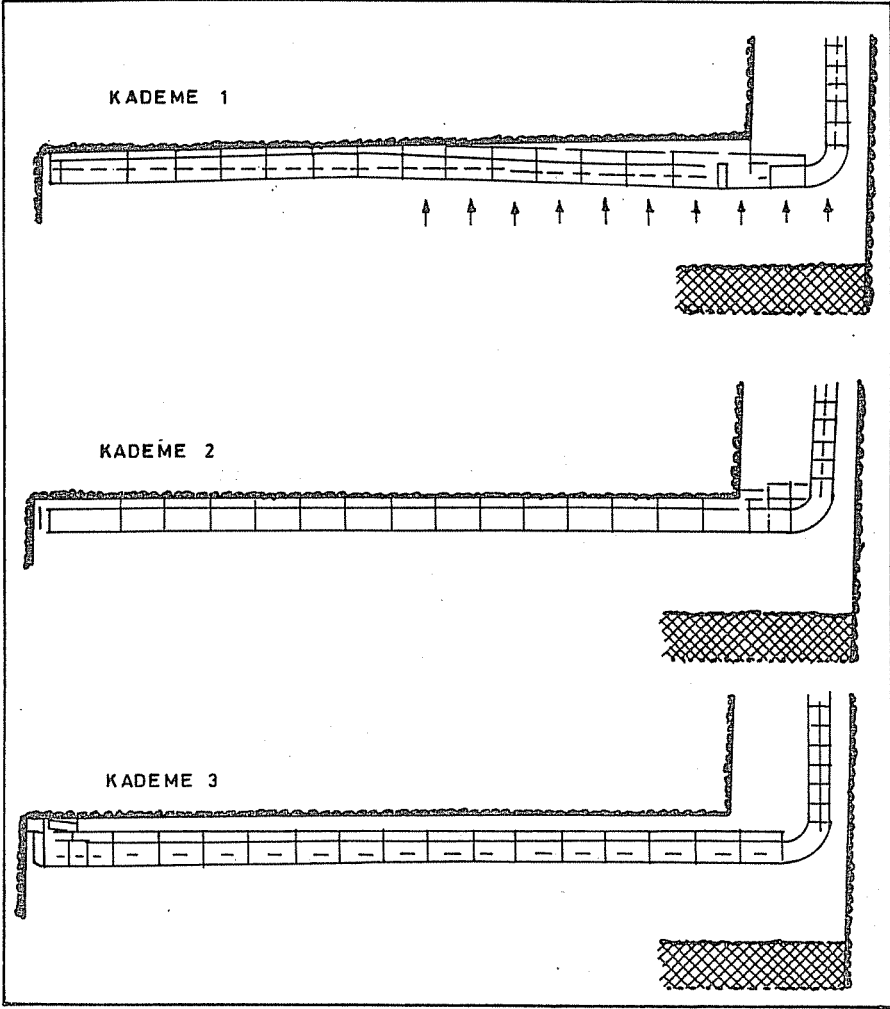
- * Makina taban kazısını yapıp galeriye geçtikten sonra konveyör tamamen itilir.
- * Makina galeriden itibaren yeni dilimin tavan kazısına başlar.
- * Ayak ucuna gelindiğinde tambur taban kömürüne daldırılır ve taban kazısına başlanır. Makina ayak başına geldiğinde bir kazı periyodu tamamlanmış olur. Şekil 5'de şematik olarak çalışma şekli gösterilmiştir.



Şekil 3. Tek Girişli Üretim Sisteminin Prensip Şeması (1)



Şekil 4. Tek Girişli İlerletimli Kısa Ayakta Çalışma Şekli (1)

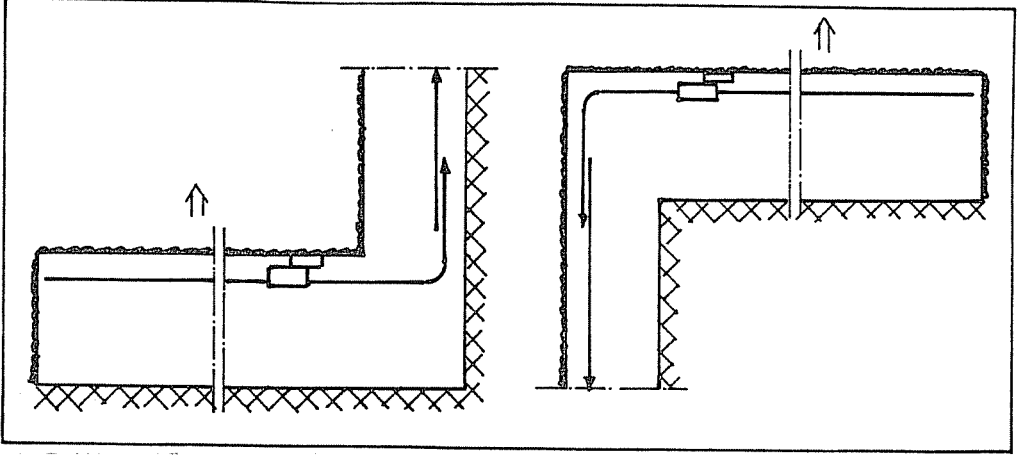


Şekil 5. Tek Girişli Dönümlü Kısa Ayakta Çalışma Şekli (1)

ESA İLE TOPUK KAZISI

Kısa ayak sistemi, kalıntı topukların kazanılmasında veya oda-topuk yöntemine bir alternatif olarak da kullanılabilir (Şekil 6).

Topuklu yöntemlerde en yaygın iki uygulama, tek galeri sürerek oluşturulan arını dönümlü olarak almak (Şekil 7) ve iki makina kullanarak çift girişli sistem oluşturmaktır (Şekil 8).



Şekil 6. Kalıntı Topukların ESA İle Kazısı.

Tek girişlide bir makina topuğu kazarken, diğer makinanın daha sonraki topuğun konveyör galerisini açtığı uygulamalar da vardır (5).

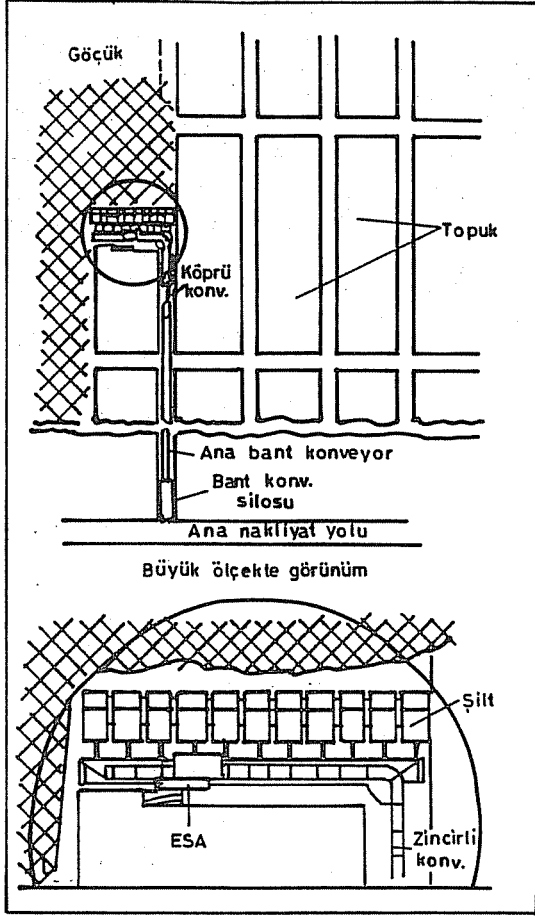
KISA AYAK VE ESA UYGULAMALARI

Özellikle kömür madenciliğinde verimi artırmak ve bazı jeolojik faktörler nedeniyle kısa ayak uygulamaları 1970'li yıllardan sonra ABD'de başta olmak üzere bir çok ülkede uygulamaya konulmuştur. Oda-Topuk işletmeciliğinin yerini alabilecek kısa ayak işletme yöntemi daha sonraki yıllarda da yaygınlaşarak günümüze kadar gelmiştir.

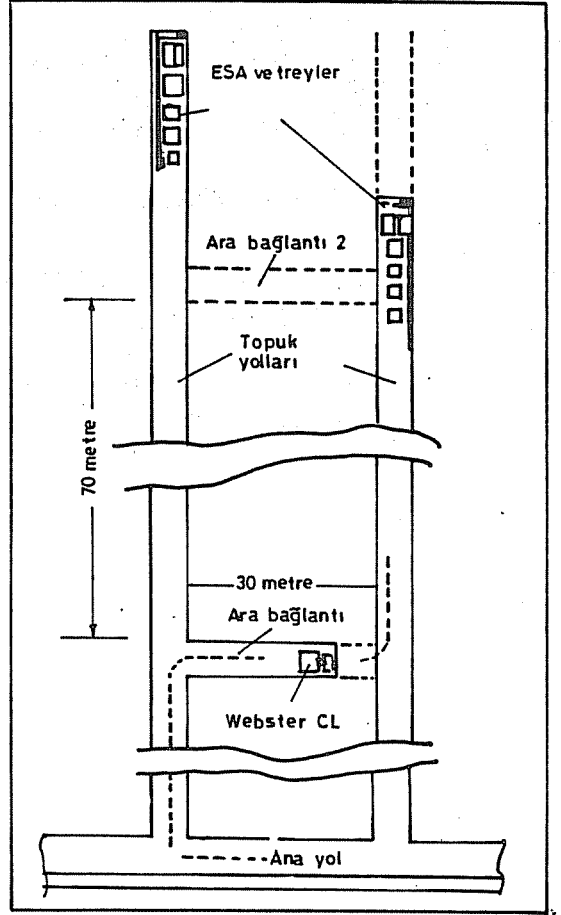
ESA uygulamaları ise daha güncel olup, Stolzenbach (Almanya) ocağında şartların zorlamasıyla yeni bir yöntemle geçme ihtiyacı duyulmuş ve üretici ile temasa geçilerek ESA-kısa ayak sisteminde çalışacak makina-teçhizat geliştirilmiştir (6). 1980'li yılların başından itibaren uygulanan bu sistemde 30-50 m uzunluğundaki 14 ayakta ortalama 7m/vardiya ilerleme hızına ulaşılmıştır (4).

Wülfen'de Fürst Leopold ocağında klasik yolla makina cebi açımında 25 kişilik işçi grubu ile 6m/gün arın ilerleme hızı sağlanırken, ESA kullanılmasıyla 8m/gün arın ilerleme hızı elde edilmiştir (4).

Osterfeld ocağında günde 3 çalışma vardiyası ile ESA-60-L, 248.5 m uzunluğundaki ayak hazırlığını 24 günde kazmıştır. Ortalama ilerleme hızı 11.85 m/gün, maksimum ilerleme hızı ise 17,25 m/gün'dür (4). Lea Hall ocağındaki ayak hazırlığında ise, ortalama haftalık ilerleme 15-20 m olurken, en iyi haftalık ilerleme 28 m olmuştur.



Şekil 7. Topuklu Yöntemlerde
Tek Girişli Sistem (2)



Şekil 8. Topuklu Yöntemlerde
Çift Girişli Sistem (2)

SONUÇ

1979 yılından bu yana kullanılmakta olan ESA sistemi emniyetli ve verim artırıcı bir şekilde kullanılabilirliğini kanıtlamış bir sistemdir. Çeşitli avantajlarından dolayı uzun ayak yöntemi daha yaygın bir sistemdir. Ancak aşırı tektonizma, aşırı gazlılık ve yangına karşı duyarlılık gibi problemler bulunduğu zaman uzun ayak sistemi ekonomik ve emniyetli olarak uygulanamamaktadır. Bu gibi durumlarda kısa kazı arınlı üretim yöntemleri ve dolayısıyla ESA kısa ayak sistemi gündeme gelmektedir.

Bilindiği gibi Zonguldak havzası aşırı derecede tektonik hareketlere maruz kalmış bir özelliktedir. Uzun ayak mekanizasyonuna imkan tanımayan havzanın bazı kesimlerinde ESA sisteminin uygulanabilirliği düşünülebilir.

KAYNAKLAR

1. Saltoğlu,S., Madenlerde Yeraltı Üretim Yöntemleri, İ.T.Ü. Maden Fak., 188 s., 1979.
2. Konuk,A. ve Yazıcı,S., Kısa Ayak Madenciligi, Madencilik, XX, 1-2, 37-44, 1981.
3. Köse,H., Madenlerde Yeraltı Üretim Yöntemleri, D.E.Ü.Müh.Mim.Fak. Y.EY 014, 197 s., 1988.
4. Eickoff-Mitteilungen, 54 th Year, Isus 1, January, 1987.
5. Muirhead,I.R., Kolada,R.S., Less Conventional Methods for Mining Underground Coal, Cim Bulletin, January, 1988.
6. Lohr,W., Introduction of a Shortwall Face at the Stolzenbach Deep Lignite Mine, Glückarf, July, 1983.

AN INVESTIGATION OF HEAT AFFECTED ZONE (HAZ) AND HEAT-FLOW DURING WELDING BY COMPUTER SIMULATION TECHNIQUES

O.Tuğrul GÖNCEL, Ercüment ÜNAL and Onur GÜVEN

Çukurova Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Adana / Türkiye

ABSTRACT: *The present work involves in investigation of relations between the depth of (HAZ) and the joint geometry of welded constructions. This work will be submitted in different parts and here X type joint design and the general concepts will be presented. In other parts, different joint types, and their effect on the heat affected zone and occurrence of thermal stresses will be presented. For this purpose, energy equations, defined for two dimensional heat transfer for the transient regime and the differential equations have been solved by using the finite differences methods. For X type joint, a computer program has been developed to obtain the temperature distribution. It has been seen that the temperature increases initially at the center due to the rapid loss of heat near the surface, and therefore the formation of heat affected zone is greater at the centre. The heat affected zone profile has been obtained.*

KAYNAKLI KONSTRÜKSİYONLARDA (ITAB) BÖLGESİNİN VE ISI AKIŞININ BİLGİSAYAR SİMÜLASYON YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ

ÖZET : *Bu çalışma bir kaç kısımdan oluşmakta olup, amaçlanan hedef Isı Tesiri Altındaki Bölgenin büyüklüğünün kaynak ağız formu ile değişimi arasındaki bağlantının çıkarılmasıdır. Bu çalışmada X tipi kaynak ağız incelenmiş ve X kaynak dikişi yanında oluşan Isı Tesiri Altındaki Bölgenin (ITAB) gelişimi bulunmuştur. Bu amaçla değişik kaynak ağız formları için iki boyutlu ısı transferini ifade eden enerji denklemi geçircirejim için çözülmüş, oluşturulan diferansiyel denklemin çözümünde, sonlu farklar metodu kullanılmıştır. X kaynak ağız formunda sıcaklık dağılımını hesaplamak için bilgisayar programı hazırlanmış ve bu program yardımı ile elde edilen sayısal sonuçlar sunulmuş ve ITAB profili elde edilmiştir. ITAB boyutlarının numunenin ortasında daha büyük olduğu görülmüştür.*

1. INTRODUCTION

The heat supplied by a welding arc produces complex thermal cycles in the weldment and these in turn cause changes in the microstructure of the heat-affected-zone, cause transient thermal stress and the metal movement, and the result in the creation of residual stress and distortion in the finished product. In order to analyze these problems, Heat flow during welding has to be analyzed.

A comprehensive investigation of the distribution of temperature in a joint during welding has been made by Portevin and Seferian (1). The effort to quantify the heat flow and residual stresses in welding goes back to the 1930's when Rosenthal (2) and Boulton et al. (3) developed analytical models are of little practical use to design engineers as they are idealized to be used in practice.

Many investigators have studied the heat flow during arc welding both analytically and experimentally (4-7). Analytical methods already developed are capable of computing with reasonable accuracy temperature distributions in simple weldments, such as bead-on-plate welding. The accuracy of the analysis is reasonably high in dealing with temperature changes in areas not too close to the welding arc. The accuracy generally drops considerably when one tries to analyze temperature changes in the technology and such techniques as the finite element and finite differences method it is quite possible to significantly advance in technology of analysing heat flow in weldment (7).

Nippes et al., (8-10) and Kihara et al., (11) have studied the thermal history of the heat-affected zone and have found it difficult to make experimental data fit analytical results based on linear theory.

Rosenthal analysis was limited to the quasi-stationary state and it was assumed that the welding heat would be concentrated at a point in 3 - dimensional analysis or a line in 2 - dimensional analysis. Although the studies on heat flow were expanded by a number of investigators, including Adams (15) and Rykalin (5) all the studies conducted in USA and in Russia were of heat flow in the quasi-stationary state.

More recently several Japanese researchers (12-14) investigated heat flow in non-stationary state.

Recently there has been a renewed interest in the use of computers in the mathematical analyses of heat flow in weldments. Researchers (16) at Massachusetts Institute of Technology recently completed a study on heat flow for the Marshall Space Flight Center, NASA during two joint experiments conducted in space as a part of the Skylab program. In this study (16), finite element program on heat flow during welding have been developed.

The present work will be involved in detailed study of heat flow and formation of heat affected zone depending upon the joint geometry.

1. The heat-affected zone is so close to the heat source that we can not assume that the

heat source is a point source located at the plate surface.

2. The temperature change encountered in the heat-affected zone is so great that the change in the thermal properties can not be neglected.

Consequently, investigators have commonly used experimental investigation to determine the thermal cycles in a heat-affected-zone. The most popular technique is temperature measurement using thermocouples mounted precise locations on the workpiece. Careful experimental techniques are essential for accurate results. The microstructure and hardness of the heat-affected zone depended upon the cooling rate. This rate is influenced by various factors including plate thickness, welding conditions, preheat, the length of weld, joint geometry, etc. Many research programs have been carried out to study the effects of welding variables on the cooling rate of the heat-affected zone.

Effect of plate thickness and preheating temperature on the cooling rate of the fusion zone in bead-welded specimens were also investigated by Kihara et al. (11) and it has been found that the cooling rates increase with increasing plate thickness. Kihara et al (11) also found that the cooling rate of the first pass of a double-vee joint is about equal to that of a bead-on-plate weld. It has also been proposed that the combine effect of the plate thickness, preheating temperature and welding conditions on the cooling rate of the heat-affected zone can also be analyzed.

Welding technology has been by and large empirical to date. Experiments and experience have contributed to the present state-of-the-art in welding (3). But with the advent of computer age, efforts are being made to make available to practicing engineers the science behind welding. The effort to quantify the heat flow and residual stresses in welding goes back to the 1930's when Rosenthal (3-4) and Boulton et al (4) developed analytical models are of little practical use to design engineers as they are idealized to be used in practice.

More recently several Japanese researchers (12-16) investigated heat flow non-stationary state.

The present work will be involved in detailed study of heat flow depending upon the joint geometry which will be the shape of the heat source. Till now no detailed investigation of (HAZ) and thermal stresses have been studied together with joint geometry.

2. MATERIALS AND METHOD

During the present work, all the assumptions were made on 0.5 % C steel which has a density of $\rho = 7833 \text{ kg mm}^{-3}$ and a specific heat $c_p = 4653 \text{ J/kg.K}$ and an average coefficient of thermal conductivity $\lambda = 53,7 \text{ W/mK}$.

Fig. 1 shows schematically the temperature distribution in a plate when a surface weld bead is being laid at a speed v . Curves 1 to 6 represent isothermal curves on the

surface while dotted curves represent isothermal curves on the traverse section. ABCD, O-xyz is the coordinate axis; the origin, O, is on the surface underneath the welding arc. (7).

The fundamental equation of heat conduction in a solid is given as (3);

$$\rho c \left(\frac{\partial T}{\partial t} \right) = Q_g + \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right)$$

where

- ρ = density, g cm
- c = specific heat, cal g
- λ = thermal conductivity cal cm
- Q_g = rate of temperature change due to heat generated by volume °C sec

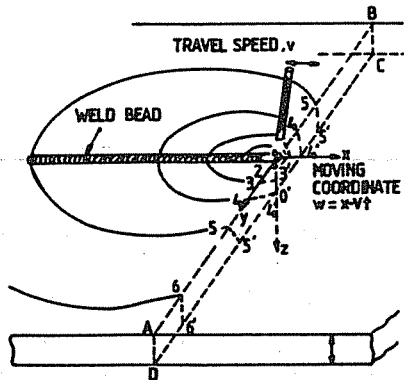


Figure 1. Schematic figure showing the temperature distribution in a plate when a weld bead is laid on the surface

AN INVESTIGATION OF HEAT AFFECTED ZONE

If there is no heat sink or heat source in the element concerned, $Q_{S1g T}$ will be $Q_g=0$, then equation will be further reduced

$$\rho c \left(\frac{\partial T}{\partial t} \right) = \lambda \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] \quad (2)$$

The difference in temperature at a corresponding point on the top and the bottom surface is less pronounced the further the point is from the welding arc as indicated by curves 5 to 6. If it is assumed that the heat source is concentrated along line O (line source), the calculation of the temperature distribution can be reduced to a 2-dimensional plane problem.

$$\rho c \left(\frac{\partial T}{\partial t} \right) = \lambda \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right] \quad (3)$$

The above equation (3) has been defined for the center, corner and the side surface of the sample with finite differences method as below (17).

a) For the center

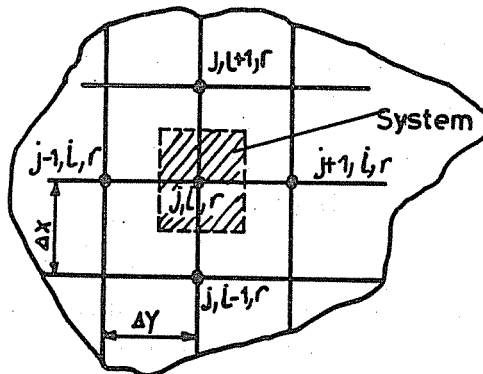


Figure 2 Finite-difference grid for node i,j in a conducting medium for the center of the sample

b) For the surface of the sample

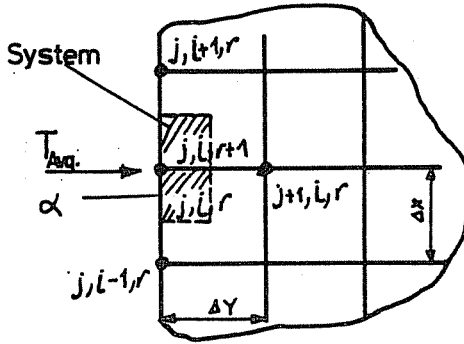


Figure 3. Finite difference grid at a surface of the sample with a boundary condition in heat convection

c) For the corner of the sample

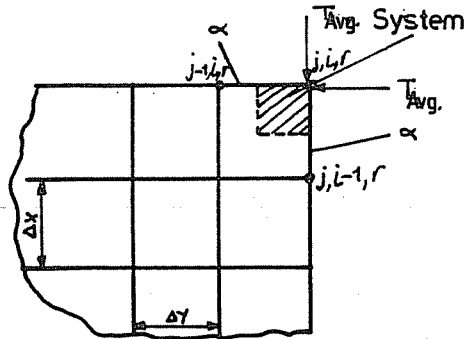


Figure 4. Finite difference grid at a corner of the sample with a boundary condition in heat convection

In above equation convection, radiation and conduction operate together. For this condition a, heat transfer coefficient is

$$\alpha = \alpha_R + \alpha_C$$

(4)

and can be found from equation.

$$\alpha_R = 4 \epsilon_{1,2} C s 10^{-8} T_2 \left[1 + \left(\frac{T_1}{T_2} \right) + \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^2 + \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^3 \right] / 4 \quad (5)$$

since there is no second plane, then

$$\frac{1}{\epsilon_{1,2}} = \frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1 \quad (6)$$

can be found

$$\alpha_C = Nu \frac{\lambda}{L} \quad (7)$$

for Nusselt number (Nu) following conditions have been assumed ;

1. For the surfaces which have the heat transfer direction same as graving

$$Nu = 0,27 Ra^{1/4} \quad (8)$$

2. For the surfaces which have the heat transfer direction opposite to the gravity

$$Nu = 1,078 + 0,406 Ra^{1/4} + 0,040 Ra^{1/3} \quad 10^1 < Ra < 10^{12} \quad (9)$$

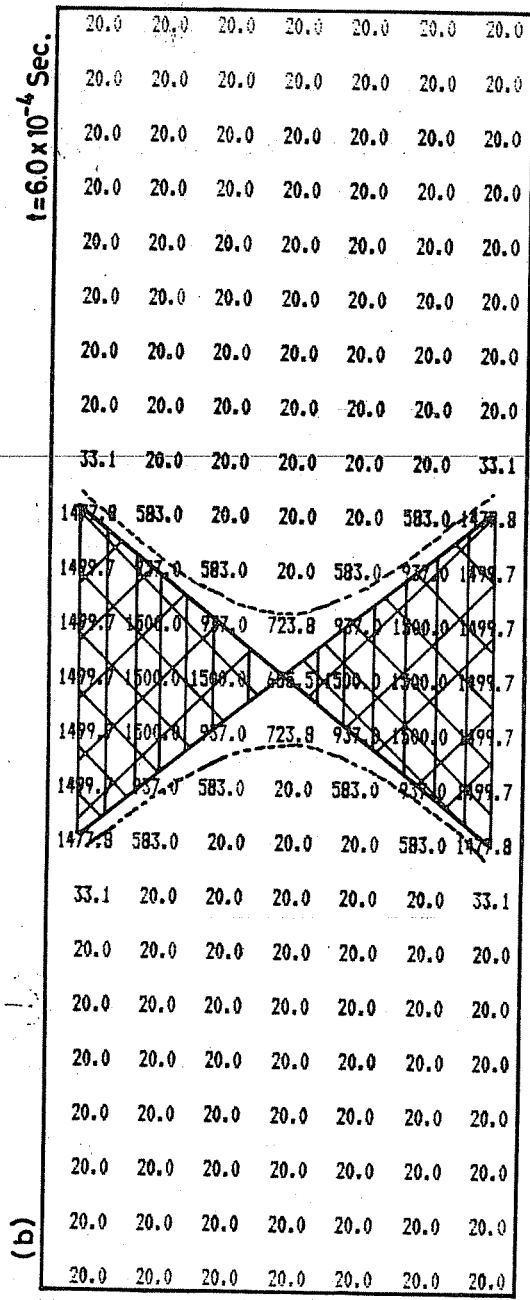
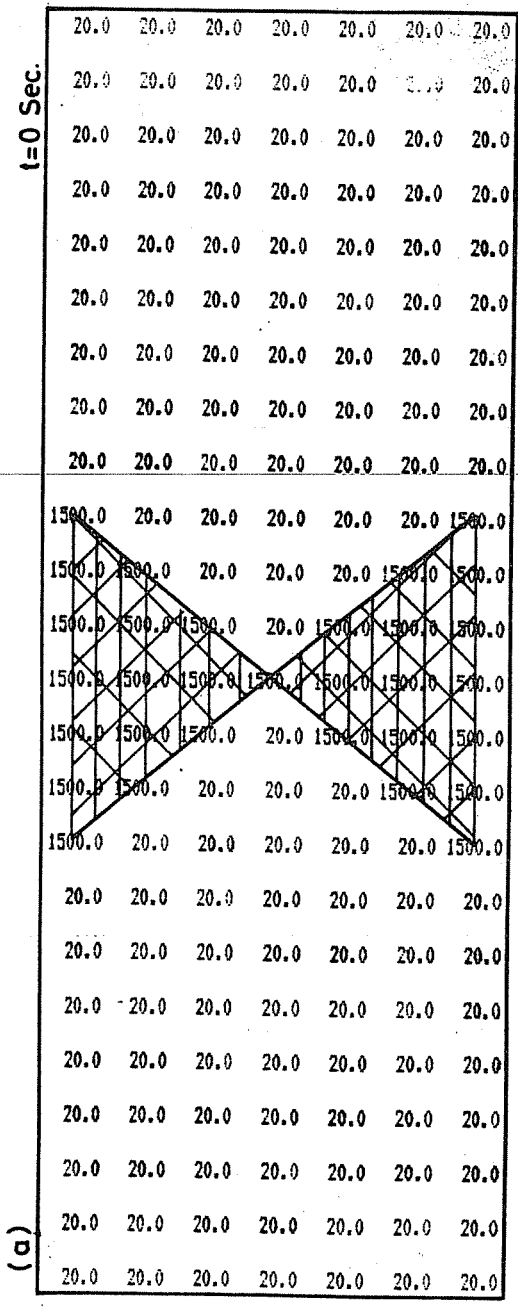
for the Rayleigh number the following equations has been used

$$Ra = \frac{g L^3}{\nu^2} \beta \Delta T Pr \quad (10)$$

Heat conduction coefficient (λ), Prandtl number, (Pr) and kinematic viscosity (ν) have been expressed in terms of temperature dependent equations by using least square methods on their physical properties (18).

The following boundary conditions have been assumed;

1. $t=0$, welding joint is at 1500 °C
2. $t=0$, the parts of the sample is at room temperature , 20°C
3. $t > \infty$ all the points are at room temperature
4. Below 700 °C no phase transformation take place
5. The thickness of the sample is 10 mm
6. The length is 300 mm,
7. V-joint angle is 60°



AN INVESTIGATION OF HEAT AFFECTED ZONE

21.2	34.2	43.0	46.1	43.0	34.2	21.2
22.2	43.3	57.2	62.0	57.2	43.3	22.2
24.0	56.9	77.9	84.8	77.9	56.9	24.0
26.9	77.4	107.7	117.2	107.7	77.4	26.9
32.1	108.3	149.6	161.7	149.6	108.3	32.1
41.6	155.1	207.3	221.1	207.3	155.1	41.6
63.9	227.6	284.6	297.0	284.6	227.6	63.9
138.6	341.5	383.8	388.7	383.8	341.5	138.6
405.5	515.1	502.2	491.1	502.2	515.1	405.5
1005.5	733.8	625.5	592.5	625.5	733.8	1005.5
1278.2	897.1	727.6	677.2	727.6	897.1	1278.2
1355.5	984.7	792.6	732.7	792.6	984.7	1355.5
1371.1	1014.5	814.7	754.9	814.7	1014.5	1371.1
1355.5	984.7	792.6	732.7	792.6	984.7	1355.5
1278.2	897.1	727.6	677.2	727.6	897.1	1278.2
1005.5	733.8	625.5	592.5	625.5	733.8	1005.5
405.5	515.1	502.1	491.1	502.1	515.1	405.5
138.6	341.5	383.8	388.7	383.8	341.5	138.6
63.9	227.6	284.6	297.0	284.6	227.6	63.9
41.6	155.1	207.3	221.0	207.3	155.1	41.6
32.1	108.2	149.5	161.6	149.5	108.2	32.1
26.9	77.3	107.4	116.9	107.4	77.3	26.9
24.0	56.6	77.4	84.3	77.4	56.6	24.0
22.2	42.8	56.4	60.9	56.4	42.8	22.2

$t = 4.3 \times 10^{-2} \text{ Sec.}$

23.3	42.6	56.0	60.7	56.0	42.6	23.3
25.5	54.7	74.3	81.0	74.3	54.7	25.5
28.9	71.6	99.1	108.3	99.1	71.6	28.9
34.4	95.7	132.9	144.8	132.9	95.7	34.4
43.2	130.3	178.3	192.8	178.3	130.3	43.2
59.2	181.1	238.4	254.3	238.4	181.1	59.2
94.9	256.9	316.3	330.3	316.3	256.9	94.9
195.2	371.0	413.1	419.9	413.1	371.0	195.2
462.8	533.4	524.9	517.4	524.9	533.4	462.8
924.4	724.2	638.6	612.3	638.6	724.2	924.4
1194.4	874.7	733.2	691.4	733.2	874.7	1194.4
1292.9	961.7	794.1	743.2	794.1	961.7	1292.9
1375.3	989.3	814.9	764.2	814.9	989.3	1375.3
1292.9	961.7	794.1	743.2	794.1	961.7	1292.9
1194.4	874.7	733.2	691.4	733.2	874.7	1194.4
924.4	724.2	638.5	612.3	638.5	724.2	924.4
462.8	533.4	524.8	517.3	524.8	533.4	462.8
195.2	370.9	413.0	419.8	413.0	370.9	195.2
94.9	256.8	316.1	330.3	316.1	256.8	94.9
59.2	180.9	238.1	254.0	238.1	180.9	59.2
43.2	130.0	177.8	192.3	177.8	130.0	43.2
34.3	95.2	132.1	143.9	132.1	95.2	34.3
28.9	70.9	97.9	106.9	97.9	70.9	28.9
25.4	53.6	72.4	78.8	72.4	53.6	25.4

(d)

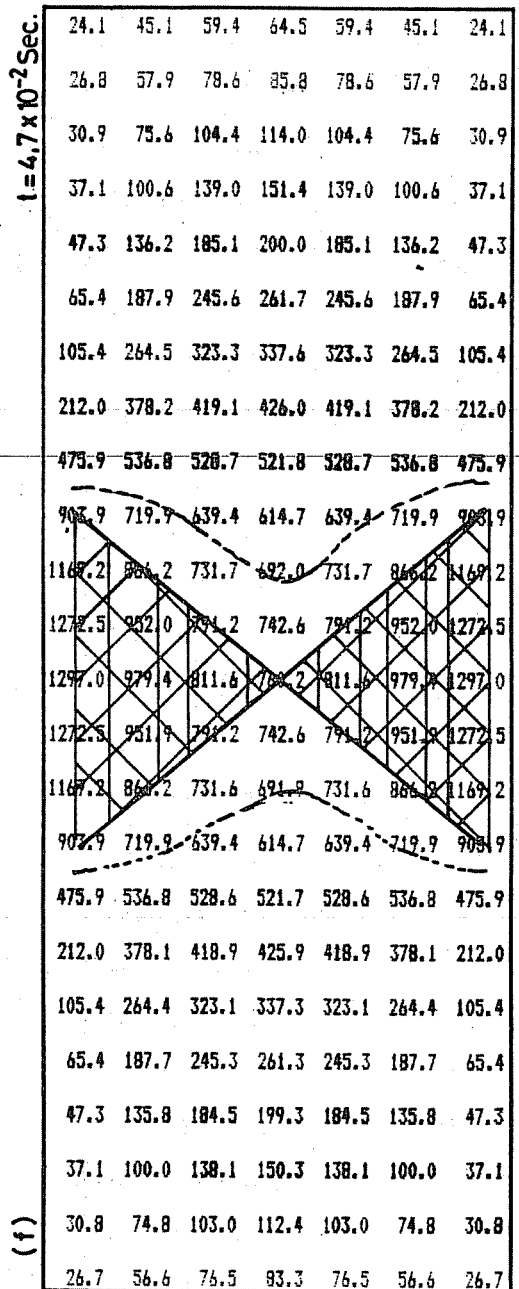
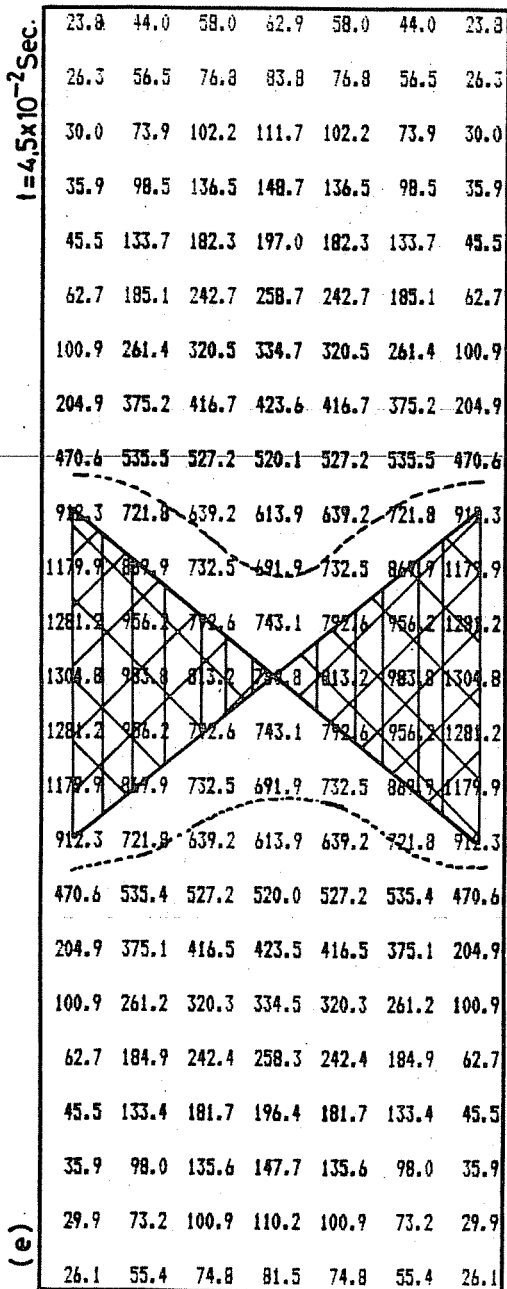
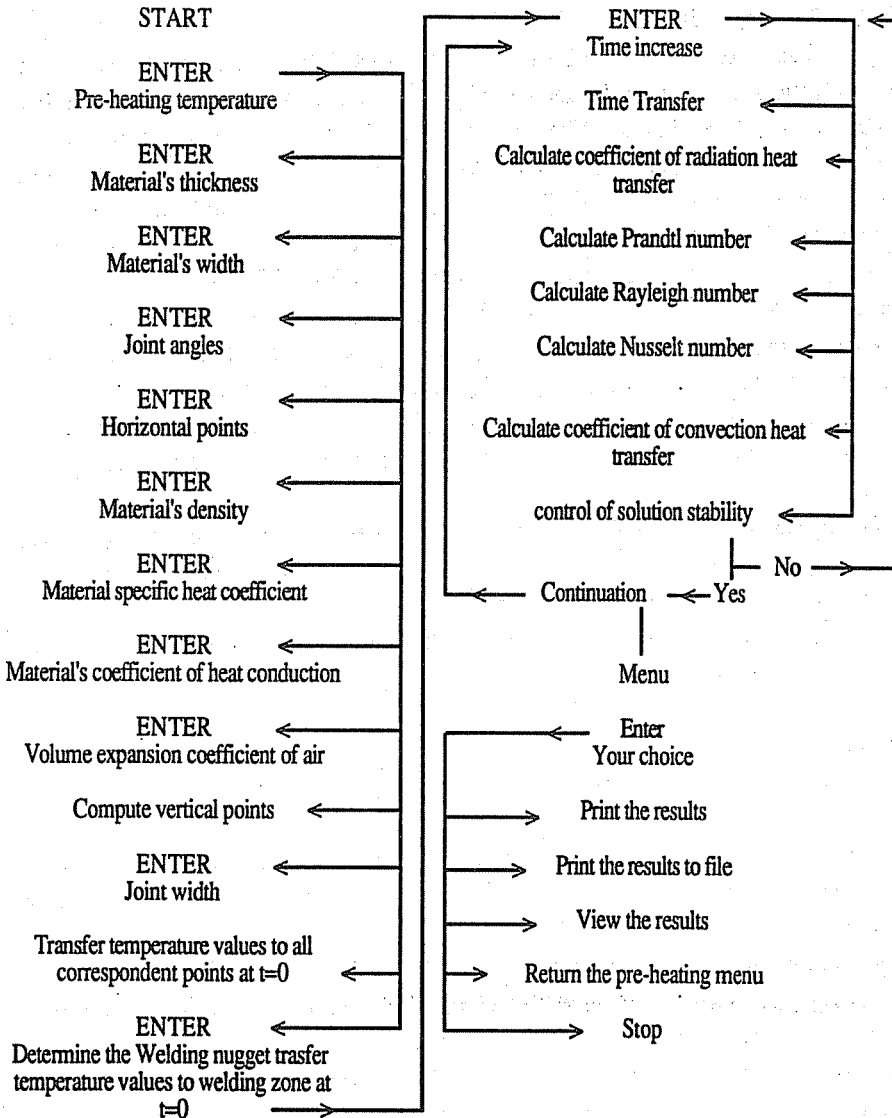


Fig. 5 Temperature Distribution Through out the Work Piece After Various Time Period.

AN INVESTIGATION OF HEAT AFFECTED ZONE



Flowchart of the program

3. RESULTS AND DISCUSSION

In Fig. 6 a-b show the initial heat flow in the specimen after 6.0×10^{-4} sec. As is evident from the figures that the isothermal lines shown hyperbolic behaviour. The temperature increase is higher at the intercept of the X type joint by comparing with that of the surface. This is due to appreciable heat loss by radiation and convection. Almost the same profile can be observed in Fig. 6 c-d. After 3.0×10^{-2} and 4.3×10^{-2} sec. respectively, but there is a considerable temperature increase near the surface. Isothermal lines show the areas which have the temperature over 700°C . In this work, it has been assumed that no phase transformation will take place below 700°C . Fig. 6 e-f show the isothermal lines after 4.5×10^{-2} and 4.7×10^{-2} sec. respectively the isothermal lines 0.5 mm and 2.0 mm away from the edge and the center respectively.

The temperature increases stops after 4.7×10^{-2} sec. The maximum depth of the heat affected zone is approximately 2.0 mm and 0.5 mm at the center and near the surface respectively.

The metallographic examinations also confirm the dimensions of the heat affected zone. It has been indicated that this thermal model is capable of predicting temperature as a function of time for any location in the workpiece.

A direct correlation between experimental and theoretical temperature-time curves will be a useful guide to a design engineer.

4. CONCLUSION

1) A finite difference thermal model was developed for electric arc welding, capable of predicting the temperature as a function of time and location for any location for any position in the work piece and for any hypoeutectoid steel.

2) Acceptable correlations between the theoretical and experimental temperature have been made.

3) Improvement in the experimental techniques to monitor the thermal cycles, as well as the introduction of empirical data in the model should reduce the deviations that exist between the predicted and the experimental values.

4) This model can also predict the width of the HAZ according to the joint geometry work will continue to improve the model to predict the microstructures and corresponding strengths of the HAZ according to different joint designs.

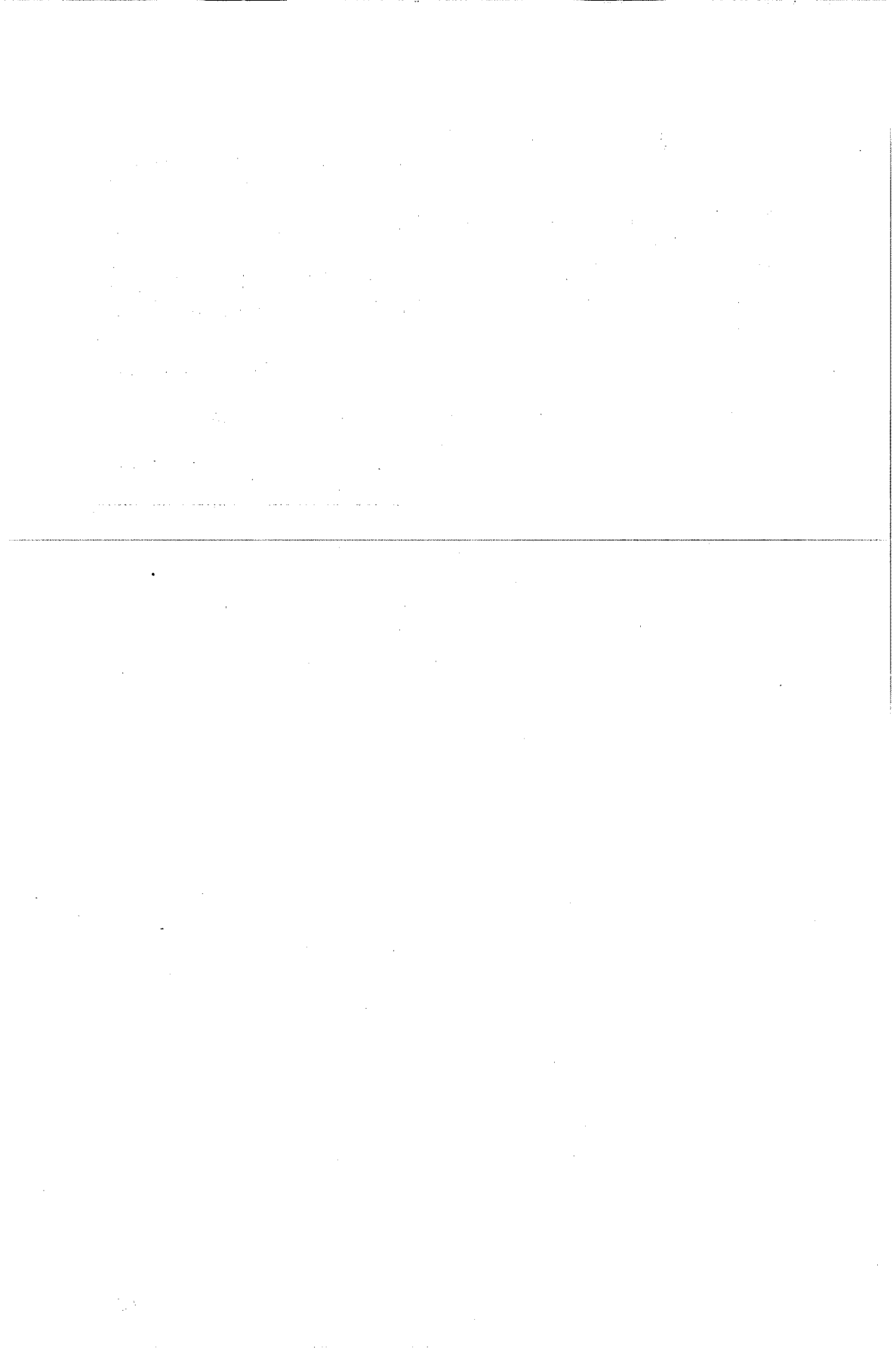
Acknowledgement This work has been supported by the University of Cukurova Research Fund Under Contract No: FBE-92

5. REFERENCES

1. Portevin and Seferian. *Bull Soc. Ing. Sovd*, 5, 1544, 1934.
2. Boulton, N.S and Lance-Martin, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 133, 295, 1936.

AN INVESTIGATION OF HEAT AFFECTED ZONE

3. Rosenthal, D, and Schmerber, R, *welding Journal* 17, 4, 1938.
4. Rosenthal, D. *Welding Journal* 20, 5, 1941.
5. Rykalin, N.N., "Calculation of Heat Process in Welding", Moscow U.S.S.R, 1960.
6. Myers, P.S., Uyehara, O.A., and Borman, G.L.; *Welding Research Council Bulletin*. 123, 1947.
7. Massabuchi, K., *Analysis of Welding Structures Vol. 33 Pergamon Press, Oxford, 1980.*
8. Nippes, E.F., Merrill, L. L and Savage *Welding Journal* 28, 11, 1949.
9. Nippes, E. F., Sawage, W.F., and Allis R.J., *Welding Journal* 36, 12, 1957.
10. Nippes, E.F., and Nelson E.C., *Welding Journal* 37, 7, 1958.
11. Kihara, H, Suzuki, H., and Tamura, H, *The Soc. of Naval Architect of Japan, Tokyo, 1957.*
12. Tanaka, S., *J. of Japanese Welding Soc.*, 13, 9, 1933.
13. Naka, T., *J. of Japanese Welding Soc.*, 11, 1, 1941.
14. Masabuchi, K. and Kusuda, T., *J. of Japanese Welding Soc.*, 22, 5, 1953.
15. Adams, C.M., *Welding Journal*, 37, 5, 1963.
16. Muraki, T., and Massabuchi, K., *Report Under Contract NAS8-28732 NASA U.S.A.*, 1973.
17. Welty, J.R., "Engineering Heat Transfer, John Wiley and Jon's U.S.A.", 1978.
18. Gröber-Erk-Grigull, *Warmübertragung*, 3 rd edition, Springer Verlag, Berlin, 1963.



ÖNGERİLMELİ KİRİŞLERDE KESİT YÜKSEKLİĞİNİN SEÇİLMESİNDE PRATİK BİR FORMÜL

Cengiz DÜNDAR ve İsmail H. ÇAĞATAY

Çukurova Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : *Bu çalışmada eğilmeye maruz öngerilmeli kirişlerin, öntasarım aşamasında kesit yüksekliğinin seçilmesinde kullanılacak pratik bir formül geliştirilmiştir. Geliştirilen formül, literatürde mevcut diğer bir formül ile karşılaştırılmış ve önerilen formülün daha kullanışlı olduğu, daha az sayıda parametreye bağlı olduğu ve minimum kesit yüksekliğini daha doğru olarak verdiği sonucuna varılmıştır.*

A SIMPLE FORMULA FOR THE DETERMINATION OF REQUIRED DEPTH OF PRESTRESSED CONCRETE BEAMS

ABSTRACT : *In this paper, a simple formula has been developed for determining the required depth of prestressed concrete beams under flexure. The presented formula has been compared with other formula available in the literature and found to be more efficient in the determination of minimum required depth of prestressed concrete beams.*

1. GİRİŞ

Öngerilmeli beton kiriş kesitlerin tasarımında kesit yüksekliğinin doğruya yakın olarak tahmin edilmesi, hesapların önemli ölçüde kısılmasına ve çözüme daha hızlı bir şekilde ulaşılmasını sağlamaktadır. Bu amaca yönelik olarak literatürde bazı öneriler mevcuttur. Bu öneriler, kesit yüksekliğinin açıklığın 1/10'u ile 1/25'i arasında seçilmesi, kesit yüksekliğinin açıklığın %4'ü olarak seçilmesi (1) ve Boczkaj (2) tarafından önerilen formül kullanılarak seçilmesi şeklindedir.

Bu çalışmada öntasarım aşamasında kesit yüksekliğinin seçilmesinde kullanılacak pratik bir formül önerilmektedir. Önerilen formül kaynak (2) de önerilen formüle kıyas ile daha az sayıda parametreye bağlı olup minimum kesit yüksekliğinin tahmininde daha doğru sonuçlar vermektedir.

2. TEMEL FORMÜLASYON

Öngerilme kuvveti zamanla değiştiği için herhangi bir andaki kesitteki gerilmeler isteniyorsa o andaki P öngerilme kuvvetinin değerinin bilinmesi gereklidir. Ancak, çoğunlukla transfer ve servis durumlarındaki öngerilme kuvveti değerleri ile gerilme kontrolü yeterli olmakta ve hesaplarda bu değerler kullanılmaktadır (3,4,5,6,7).

Transfer anındaki öngerilme kuvveti için beton emniyet gerilmeleri şartnamelerde daha yüksek verilmektedir (8). Bu nedenle servis durumundaki öngerilme kuvveti tesiri altında kirişin yüklü ve yüksüz durumları için gerilme kontrolünün yeterli olduğu kabul edilmektedir (9). Bu durumda, kirişin yüksüz durumu için kesitte meydana gelen gerilmeler üst ve alt lifler için ;

$$\frac{P}{A} - \frac{P e Y_t}{I} + \frac{M Y_t}{I} \geq f_{1m\phi} \quad (1)$$

$$\frac{P}{A} + \frac{P e Y_b}{I} - \frac{M Y_b}{I} \leq f_{1mb} \quad (2)$$

formülleri ile, kirişin yüklü durumu için ise yine üst ve alt lifler için,

$$\frac{P}{A} - \frac{P e Y_t}{I} + \frac{M Y_t}{I} + \frac{M_L Y_t}{I} \leq f_{2mb} \quad (3)$$

$$\frac{P}{A} + \frac{P e Y_b}{I} - \frac{M Y_b}{I} - \frac{M_L Y_b}{I} \geq f_{2m\phi} \quad (4)$$

formülleri ile verilmektedir.

Burada, P: öngerilme kuvvetini; e: eksantrisiteyi ; A: kesit alanını ; I: kesit atalet momentini ; Y_t, Y_b: sırasıyla kesit ağırlık merkezinin kesit üst lifine ve alt lifine olan uzaklıkları; M: kirişin kendi ağırlığından dolayı oluşan momenti; M_L: servis yükünden

ÖNGERİLMELİ KİRİŞLERDE KESİT YÜKSEKLİĞİ İÇİN PRATİK BİR FORMÜL

dolayı oluşan momenti; $f_{1mç}$, f_{1mb} : transfer durumunda sırasıyla kesitte müsaade edilen beton çekme ve basınç gerilmeleri değerlerini ; $f_{2mç}$, f_{2mb} : servis durumunda sırasıyla kesitte müsaade edilen çekme ve basınç gerilmeleri değerlerini göstermektedir.

(3) ifadesinden (1) ifadesi çıkarılırsa,

$$\frac{I}{Y_t} \geq \frac{M_L}{f_{1mç} - f_{2mb}} \quad (5)$$

ifadesi, (4) ifadesinden (2) ifadesi çıkarılırsa,

$$\frac{I}{Y_b} \geq \frac{M_L}{f_{2mb} - f_{2mç}} \quad (6)$$

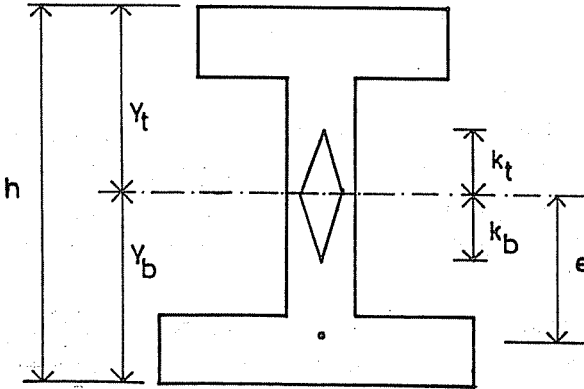
ifadesi elde edilir.

Y_t , Y_b ve kesitin verimlilik katsayısı ρ için aşağıdaki ifadeler yazılabilir (1).

$$Y_t = (1-z) h , Y_b = z h \quad (7)$$

$$\rho = \frac{k_t}{Y_t} = \frac{k_b}{Y_b} = \frac{k_t + k_b}{h} = \frac{I}{A Y_t Y_b} \quad (8)$$

Burada, z : asimetrik kesit faktörünü; k_t , k_b : sırasıyla üst ve alt çekirdek noktalarının kesit ağırlık merkezine mesafelerini göstermektedir.



Şekil 1. Kiriş Kesiti

Mames (11), kesit alanı için, kiriş yüksekliğinin bir fonksiyonu olan bir ifade önermiştir.

$$A = \beta h^2 \quad (9)$$

Burada, β katsayısı 0.18 ile 0.25 oranında değişmektedir. (9) ifadesi (8) de yerine konur ve elde edilen ifade de (6) da yerine konursa,

$$h \geq \sqrt[3]{\frac{1}{\rho\beta(1-z)} \frac{M_L}{(f_{1mb} - f_{2m\phi})}} \quad (10)$$

ifadesi elde edilir. Bu ifade yeniden düzenlenirse,

$$h \geq J \sqrt[3]{\frac{M_L}{f_{1mb} - f_{2m\phi}}} \quad (11)$$

ifadesi elde edilir. Burada,

$$J = \frac{1}{\sqrt[3]{\rho\beta(1-z)}} \quad (12)$$

dir.

Kesit yüksekliğinin hesabında Boczkaj tarafından önerilen formül

$$h = J_1 \sqrt[3]{\frac{M_L}{\eta f_{1mb} - f_{2m\phi}}} \quad (13)$$

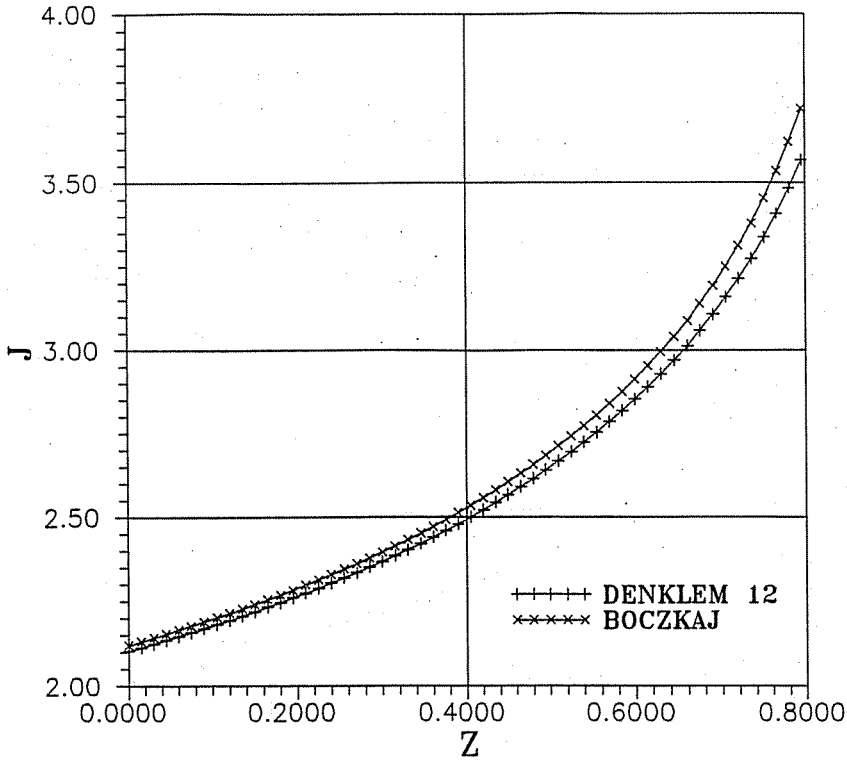
$$J_1 = \frac{1}{\sqrt[3]{\beta\rho(1-z) \left[1 - \frac{(1-\zeta\eta) C_m \gamma_L}{\rho(1-z)(\eta f_{1mb} - f_{2m\phi})} \frac{L}{h} \right]}} \quad (14)$$

ifadeleri ile verilmektedir. Burada,

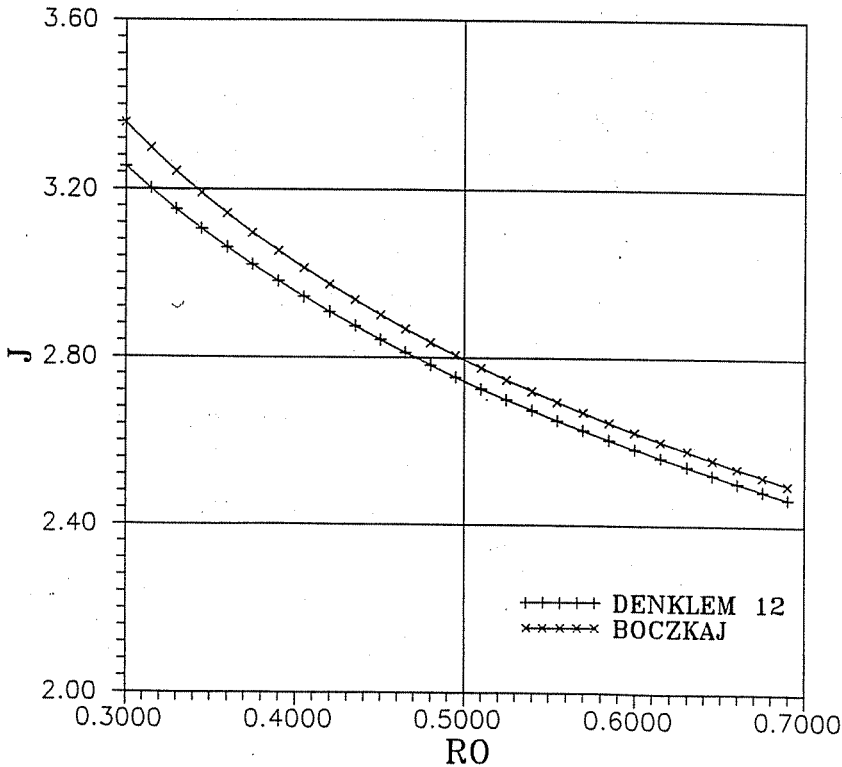
η = efektif öngerilme katsayısını; ζ = transferde, kritik kesitteki momentin maksimum momente oranını; $C_m = 0.125$ değerini; γ = beton birim ağırlığını göstermektedir.

Formülasyondaki parametrelerin değişimi Tablo 1'de verilmiştir (2). Ortalama değerler için (12) ve (14) ifadelerinin değişimi z , ρ ve β parametreleri için Şekil (2,3,4)'te gösterilmiştir.

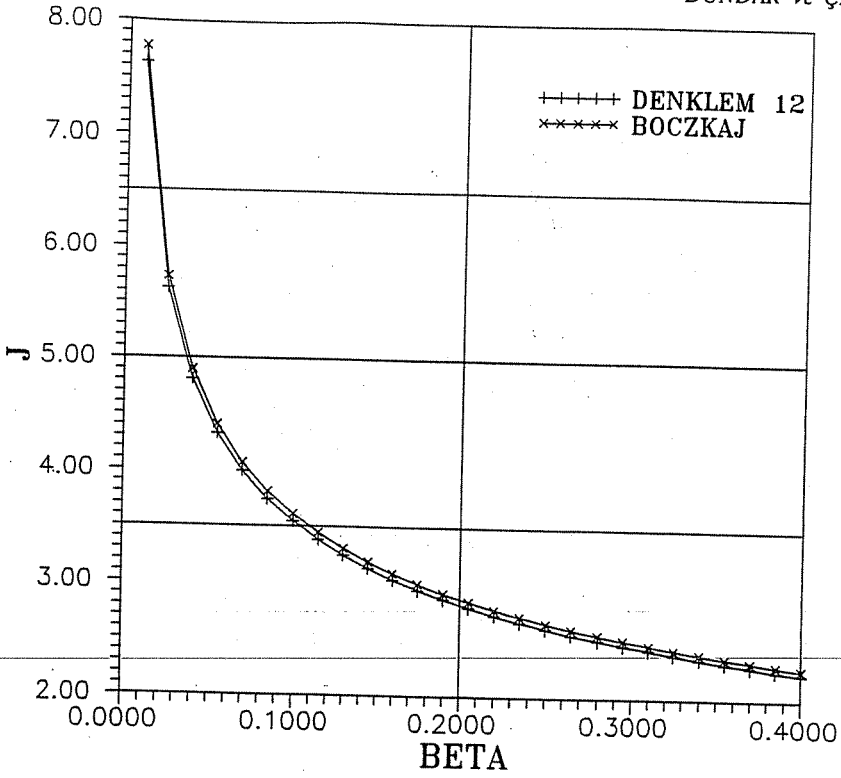
Bu çalışmada kesit yüksekliği için önerilen ifadede 6 parametre bulunmaktadır. Bunlar, ρ , β , z , M_L , f_{1mb} ve $f_{2m\phi}$ dir. J katsayısı için ise bu parametrelerden 3'ü kullanılmaktadır. Boczkaj'ın ifadesinde ise 14 parametre bulunmaktadır. Bu parametreler, yukarıda verilen parametrelerin dışında, ζ , η , C_m , γ , L ve L/h dir. Bu 14 parametreden 11'i J_1 katsayısı için kullanılmaktadır. Görüldüğü gibi bu çalışmada önerilen formüldeki parametre sayısı daha azdır. Kiriş açıklığı sadece hareketli yük momenti için etkili olmaktadır. Boczkaj'ın ifadesinde L kiriş açıklığının etkisi önemli olmamaktadır.



Şekil 2. J 'nin Asimetrik Kesit Katsayısı İle Değişimi



Şekil 3. J 'nin Kesitin Verimlilik Katsayısı İle Değişimi



Şekil 4. J'nin Kesitin Alan Katsayısı İle Değişimi

Tablo.1

Parametre	Kullanılan Değerler		Ortalama
	Maksimum	Minimum	
f_{1mb}	24.84 N/mm ²	7.02 N/mm ²	18.62 N/mm ²
$f_{2mç}$	-3.7 N/mm ²	-2.6 N/mm ²	-3.2 N/mm ²
L	91.44 m	6.1 m	48.76 m
L/h	25	10	18
z	0.65	0.45	0.55
η	0.95	0.75	0.85
ρ	0.55	0.45	0.50
β	0.25	0.18	0.215
ζ	-	-	1
γ	-	-	23.55 kN/m ³
C_m	-	-	0.125

Maksimum, minimum ve ortalama değerler için h'nın değişimi Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo.2

h	Maksimum	Minimum	Ortalama
BoczkaJ	$0.93 \sqrt[3]{M_L}$	$1.27 \sqrt[3]{M_L}$	$1.06 \sqrt[3]{M_L}$
Denklem 11	$0.90 \sqrt[3]{M_L}$	$1.14 \sqrt[3]{M_L}$	$0.98 \sqrt[3]{M_L}$

ÖNGERİLMELİ KİRİŞLERDE KESİT YÜKSEKLİĞİ İÇİN PRATİK BİR FORMÜL

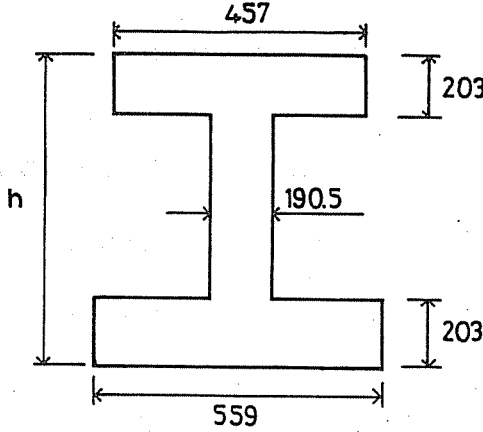
Boczkaj J_1 katsayısının ortalama olarak 2.85 alınmasını önermiştir. Bu çalışmada ise J katsayısı sadece 3 parametre içerdiği için hesabı kolaylıkla yapılabilir. Ayrıca önerilen formül ile minimum kesit yüksekliği daha doğru olarak hesaplanabilmektedir.

ÖRNEKLER

ÖRNEK I

Bu örnekte Boczkaj tarafından verilen örnek çözülmüştür (Şekil.5).

Hareketli yük 20.55 kN/m, kiriş açıklığı $L=27.43$ m, müsaade edilen gerilmeler $f_{1mb}=17.39$ N/mm², $f_{2mç}=-3.21$ N/mm² dir.



Şekil 5. Örnek 1 Kesiti

$$\rho = 0.5 , \beta = 0.215 , z = 0.55$$

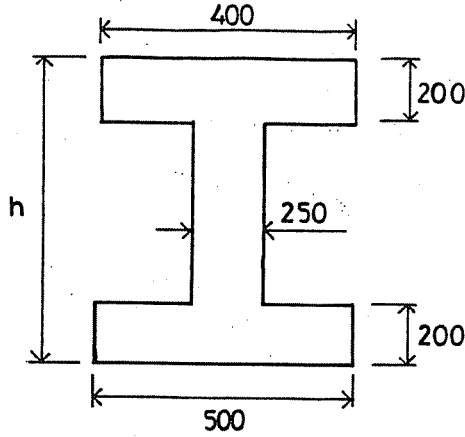
$h \geq 124.7$ cm bulunmaktadır. Boczkaj'ın formülüne göre $h = 137$ cm hesaplanmaktadır. Teorik minimum kesit yüksekliği 126. 5 cm dir.

ÖRNEK 2

Bu örnekte Şekil.6'da verilen kiriş kesiti gözönüne alınmıştır. Hareketli yük 20 kN/m, kiriş açıklığı $L=23.5$ m'dir. Müsaade edilen gerilmeler $f_{1mb}=20$ N/mm², $f_{1mç}=-1$ N/mm², $f_{2mb}=18$ N/mm² ve $f_{2mç}=-1$ N/mm²'dir.

Denklem 11'den

$h \geq 110.7$ cm hesaplanmaktadır. Teorik minimum kesit yüksekliği 110 cm'dir. Boczkaj'ın önerdiği formüle göre $h=118.8$ cm'dir.



Şekil 6. Örnek 2 Kiriş Kesiti

KAYNAKLAR

1. Guyon, Y., *Prestressed Concrete, 1*, John Wiley and Sons Inc., New York, N.Y., 1953.
2. Boczkaj, B.K., "Depth of Prestressed Concrete Beam", *Journal of Structural Engineering*, Vol. 116, No. 2, February 1990.
3. Lin, T.Y., *Design of Prestressed Concrete Structures*, John Wiley and Sons Inc., New York, N. Y., 1981.
4. Taylor, M.A., "Direct Design of Nonprismatic Prestressed Beams: I", *Journal of Structural Engineering*, Vol. 113, No. 6, June 1987.
5. Somayaji, S., "Prestressed Concrete Flexural Member Design", *Journal of Structural Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineering, ASCE*, Vol. 108, No. St. 8, August 1982.
6. Magnel, G., *Prestressed Concrete*, Concrete Publications Ltd., London, U.K., 1948.
7. Boczkaj, B.K., "Design of Prestressed Concrete Beam for Flexure", *Journal of Structural Engineering, ASCE*, Vol. 110(3), 1984.
8. TS 3233, *Öngerilmeli Beton Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları*, Şubat 1979.
9. Bilge, M., *Öngerilmeli Beton*, İstanbul Teknik Üniversitesi, 1981.
10. Dündar, C., Çağatay, İ.H., "Kompozit Öngerilmeli Beton Kirişlerin Magnel Diyagramları Yardımı ile Bilgisayar Destekli Tasarımı", *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 5, Sayı 1, Aralık 1990.
11. Mames, J., *Prestressed Concrete, 1*, John Wiley and Sons Inc., New York, N.Y., 1957.

İNŞAAT SEKTÖRÜNDE ENERJİ TASARRUFU SAĞLAMANIN EKONOMİYE VE EKOLOJİK DENGİNİN KORUNMASINA KATKI OLANAKLARI

Yusuf GÜRÇİNAR

Çukurova Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Adana/Türkiye

ÖZET : Gittikçe artan nüfusumuz ve yükselen yaşam standartlarına paralel olarak enerjiye olan talebin devamlı ve hızlı bir şekilde yükselmesi, ülkemizin doğal enerji rezervlerinin gitgide azalarak bitmeye başlaması ve fosil enerji türlerinin kullanılması ile meydana gelen çevre kirliliklerinin meydana getirdiği zararlar doğayı tehdit edici boyutlara ulaşmıştır.

Binaların yapımlarından yıkımlarına kadar olan süreç içerisindeki toplam enerji sarfiyatını kullanım alanlarına göre; binanın yapımı için harcanan enerji, binanın kullanımı esnasında bakım ve onarım işleri için harcanan enerji, kullanıcıların sarfettiği enerji ve binanın yıkımı için harcanacak enerji olmak üzere 4 alanda gruplandırmak olasıdır.

Bu gruplar içerisinde en yoğun enerji sarfiyatı "kullanıcıların sarfettiği enerji" grubunda, özellikle binanın iklimlendirilmesi alanında yapıldığı saptanmıştır.

İklimsel ve minimum enerji sarfiyatı sağlayabilecek bina planlaması yapılması halinde, enerji tüketimini ve çevre kirliliğini önemli ölçüde azaltmak mümkün olacaktır.

THE CONTRIBUTION POSSIBILITIES OF OBTAINING ENERGY SAVE IN BUILDING SECTOR, TO THE ECONOMY AND THE PRESERVATION OF ECOLOGICAL EQUILIBRIUM

ABSTRACT: Increase in our population, parallel to increasing level of living standarts, continious and rapid increase in energy demand, gradual decreasing in natural energy reservation of our country, coming to an end, damages, due to environmental pollution caused by using the fossil energy types, are reached to threatening dimension for the nature.

Total energy consumption during the total life of the buildings from construction to fall to ground, can be grouped in 4 parts; the energy consumed for construction in the fields of functioning, the energy used for maintenance and repairing during functioning of the building, the energy used by the people for their activities and the energy for thedestruction of the building.

The maximum energy use is, in the group of "The energy that is spent up by the residents" and especially for the air conditioning of the buildings, that they are living in. It will be possible to decrease the use of energy in an important ratio by making climatic building plannings which will obtain the minimum energy spending.

1. GİRİŞ

Petrolün serbest piyasa değeri, dünyadaki politik gelişmelere paralel olarak büyük çapta oynamalar göstermekte ve bu gelişimler dolaylı olarak diğer ikincil enerji fiyatlarına da yükseltici bir şekilde etki etmektedir.

Bugün enerjinin sağlanabilmesi için, özellikle petrol ve petrolden elde edilen ürünlerin ithalatı için yapılan ödemeler toplam ithalatımızın % 21'i ile % 36'sını kapsamaktadır (Bkz. Tablo 1). Enerji üretimi için gerekli hammaddeler için yapılan ödemeleri, toptan ithalat giderlerinden çıkartığımızda ithalat ve ihracaat arasındaki fark sifıra yakın bir düzeye inmektedir.

		1984	1985	1986	1987	1988
Petrol ve petrolden	A	16 387 886	16 620 474	17 878 573	20 928 121	22 973 367
elde edilen ürünler	B	03 527 258	03 508 519	01 943 663	02 870 616	02 604 515
Kömür Kok Biriket	A	02 165 560	02 494 361	02 973 876	03 868 654	04 774 516
	B	00 151 540	00 166 024	00 172 607	00 198 019	00 272 236
Tabii gaz ve marmul gaz	A	00 435 207	00 453 863	00 485 513	00 586 341	01 448 881
	B	00 115 310	00 111 798	00 075 774	00 102 200	00 180 948
Toplam enerji ithalatı	A	18 988 653	19 568 698	21 337 962	25 383 116	29 196 764
	B	03 794 108	03 786 341	02 192 044	03 178 035	03 057 699
Türkiye'nin toplam ithalatı	B	10 662 766	11 274 774	11 020 224	14 092 822	14 335 396
Türkiye'nin toplam ihracatı	B	07 133 602	07 958 008	07 456 724	10 190 047	11 662 021

Tablo 1: Türkiye'de 1984-1988 yılları arasında enerji ithalatı için yapılan harcamalar ve bu değerlerin toplam ithalatta/ihracaatta payı. (A: Miktar (ton), B: Değer (bin Dolar) DİE, (1)).

Ülkemizde sanayileşme ve hızlı nüfus artışının önümüzdeki yıllarda da devam edeceğinin saptanması (DPT, (2)) sanayi hammaddelerine olan ihtiyacımızın ve inşaat sektöründeki yatırımlarımızın katlanarak artacağını göstermektedir.

Enerji ve hammadde temini konularında şimdiden esaslı tedbirler alınmaya başlanmadığı takdirde kısa bir süre sonra oluşacak ihtiyaçları karşılayabilmek için atom ve kömür santralleri gibi ilk yatırım masrafları son derece yüksek olan ve buldukları yakın çevredeki canlıların yaşamını ciddi derecede tehdit edebilecek olan enerji üretim sistemlerine geçme zorunluluğu ortaya çıkacaktır.

Tüm enerji kullanımı, ait oldukları sektörlerle göre sanayi, transport ve genel kullanım (ev ve büroların ısıtılması gibi) olmak üzere üç ana grupta sınıflandırabiliriz.

Bu üç kullanıcı grubunun son 10 yıldaki enerji tüketiminin yaklaşık 1/4'ü ev ve bürolardaki iklimlendirme amacına yöneliktir.

Yurdumuzda üretilen elektrik enerjisinin 1988 yılına kadar % 60'a yakın bir kısmı ve

1988'den beride % 40'a yakın bir kısmı termik santrallerde üretildiği ve toplam elektrik enerjisinin yaklaşık % 25'inin ev ve büroların aydınlatılması ve iklimlendirilmesi için sarf edildiği (DİE, (1), S.,226-227) gözönüne alındığında bina inşaatı ve ısıtılması için harcanılan enerji maliyetlerinin ülke ekonomisine ne denli büyük bir maddi yük getirdiği ve getireceği anlaşılmaktadır.

Güneş ışınlarının zararlı olan kısımlarının yeryüzüne ulaşmasını engelleyen atmosfer tabakası, içeriğinde karbondioksit oranının artması sonucu bu özelliğini giderek kaybetmektedir.

Atmosferdeki karbondioksit oranının artışının temel nedeni fosil kökenli maddelerin enerji üretimi için yakılmasıdır. 1988 yılında Toronto'da yapılan iklim konferansında, atmosferdeki karbondioksit oranının önümüzdeki 50 yıl içerisinde şimdiki değerinin yarısına indirilmesi gerektiği saptanmıştır.

Bu veriler inşaat sektöründe, bina yapımından, bina iklimlendirilmesine kadar her aşamada tasarrufa gidilmesinin, enerji ithalatı için harcanılan dövizin büyük bir bölümünden tasarruf etmeyi mümkün kılmasının yanı sıra atmosferdeki karbondioksit oranının azaltılmasında da önemli katkısının olacağını göstermektedir.

Bu şekilde kalkınmamız için gerekli olan alanlara ek kaynak sağlanması, hava ve çevre kirliliğinin azaltılması ve fosil kökenli enerji kaynaklarının uzun süreç içinde kullanılması mümkün olacak, kullanıcılar da binaların iklimlendirilmesi için yapacakları harcamalardan binanın ısı yalıtım kalitesi ile orantılı olarak tasarruf edebileceklerdir.

Giderek artan dünya nüfusu sınırlı kaynakları olan fosil kökenli enerji türlerinin yakın bir gelecekte tükenmesine neden olacaktır. Bu sebeple enerji tasarrufu sağlayan sistemlerin şimdiden ciddi bir şekilde araştırılması, gelecekte enerji kaynaklarının tükenmesi durumunda ortaya çıkabilecek problemlerin çözümü için bir temel teşkil edecektir.

2.Bina yapımında ve kullanımında meydana gelen enerji sarfiyatının analizi

Binaların yapımlarından yıkımlarına kadar olan süreç içerisinde harcanan toplam enerjiyi, kullanım alanlarına göre binanın yapımı için harcanılan enerji, binanın kullanımı sırasında bakım ve onarım işleri için harcanan enerji, binanın kullanımı sırasında kullanıcılarının sarfettiği enerji ve binanın yıkımı için harcanacak enerji olmak üzere 4 alanda gruplandırmak mümkündür. Bu alanların içerikleri aşağıda kısaca açıklanmıştır.

2.1. Binanın yapımı için harcanan enerji

Yapı malzemelerini oluşturan hammaddelerin madenlerden, taşocaklarından çıkartılması, bunların naklieleri, fabrikalarda tam veya yarı mamül olarak işlenmeleri, fabrikalardan şantiyelere naklieleri, tam mamüllerin şantiyede monte edilmeleri, yarı mamüllerin şantiyede yapı malzemesi olarak üretimi ile ilgili tüm enerji harcamaları ve şantiyelerde

genel enerji harcamalarının toplamını bu gruba dahil etmek mümkündür.

Yapı Malzemesi	Özgül Ağırlığı (kg/m ³)	Üretim Enerjisi (MJ/m ³)	Yapı Malzemesi	Özgül Ağırlığı (kg/m ³)	Üretim Enerjisi (Kj/m ³)	Yapı Malzemesi	Özgül Ağırlığı	Üretim Enerjisi
Alüminyum	002 700	704 214	Yassı Demir	007 800	251 878	Polyvinylchlorid	001 380	077 458
Yuvarlak Demir	007 800	236 434	Demir Profil	007 800	201 895	Polyethylen	000 920	068 022
Muşamba	000 920	071 674	PVC Boru	001 380	083 075	Polystyroiköpük	001 020	002 499
Ponzalaşı Biriket	000 700	000 720	Gaz Beton	000 700	002 279	Hafif Beton	000 650	002 152
Normal Beton (B25)	002 300	001 624	Kum ,Çakıl	002 550	000 038	Transporbeton	002 300	001 624
Delikli Tuğla	001 200	003 132	Dolu Tuğla	001 750	004 898	Kiremit	001 700	004 617
Betonarme (B25)	002 500	009 969	Bitüm	001 000	003 023	Asbestlibeton	001 800	009 245
Düz Cam	002 400	052 445	Kesilmiş Ahşap	000 600	001 693	Sunta	000 450	002 883

Tablo 2: Yapı malzemelerinin imalatı için gerekli enerji miktarları (Krusche ve Althaus (3) ve Marme'nin (4) verilerine göre düzenlenmiştir.

Yapı malzemelerinin hammaddelerinin temini, nakliyesi ve fabrikalarda yarı mamül olarak işlenmesi için harcanan enerji miktarları üzerine Krusche ve Althaus'un (3) ve Marme'nin (4) yaptığı araştırmalar sonucu elde edilen değerlerin bir bölümü Tablo 2'de verilmiş ve tablo düzenlenirken malzemelerin nakliyesinde kullanılan enerjinin ve inşaatta kullanılan miktarlarının kolaylıkla hesaplanabilmesi ve birbiri ile karşılaştırılabilmesi için 1 m³lerinin özgül ağırlıkları ve üretimleri için gerekli olan enerji miktarları gösterilmiştir.

Bu tablodan görüldüğü gibi imalat için en fazla enerji gerektiren malzemeler metaller ve plastik ürünlerdir.

Malzemelerin karışımı ile imal edilmiş olan ikincil malzemelerin üretim enerji miktarı metallerden sonra ikinci sırayı almaktadır. Örneğin, Betonarme (B25) üretimi için gereken enerji miktarı Beton (B25) üretimi için gereken enerji miktarının takriben 6 katı olmaktadır.

Üretim enerji maliyetine bir örnek olarak, Pişirici'nin (5) konutlarda, maliyetin fonksiyonel yapı elemanlarına dayalı olarak belirlenmesi için analiz ettiği binanın (Bayındırlık Bakanlığı, Yapı İşleri Genel Müdürlüğü'nün iki yatak odalı, Tip Sosyal Konut Proje No: 10227) kaba yapısı kısmen ele alınmış ve bazı değerler tablo 3'de gösterilmiştir.

Tablo, iki kısma ayrılmıştır. Birinci kısımda mevcut yapı elemanlarının miktarları, birim fiyatları ve üretimleri, için gerekli olan enerji miktarları hesaplanmıştır. Yapılan hesaplarda döşeme, kiriş, kolon ve temel betonarmeleri için iş iskelesinden ve kalıp şeklinden doğan fiyat farkları ihmal edilmiş, tüm betonarme hesapları için Bayındırlık Bakanlığı Birim fiyat listesinden (6) B225 Betonu maliyeti için poz.no 16.043/1 de verilen değer alınmıştır. İç ve dış tuğla duvarlar için Pişirici ((5),S.,26) tarafından önerilen poz no. 18.01/1 alınmıştır.Pomza taşından briket dış duvar için poz no. 18.303, iç duvar için poz no. 18.301 ve asmolen döşeme için 18.324 kabul edilmiştir.

Mevcut binada kullanılması öngörülen malzemeler için toplam 83.301.918 TL ve 3.680.975 MJ/m³ enerji gerekmektedir. Döşemelerde pomza taşından yapılmış asmolen ve duvarlarda pomza taşından yapılmış briket kullanılması halinde toplam 37.392.997 242

İNŞAAT SEKTÖRÜNDE ENERJİ TASARRUFU

TL ve 2.345.418 MJ/m³ enerji gerekecektir. Bu şekilde belirtilen kalemlerin maliyeti % 55.11, üretim enerji sarfiyatları da % 36.28 oranında düşmüştür.

Yapı Elemanı	Malzeme Cinsi	Miktarı	Özgül Ağırlığı	BirimFiyatı	Maliyeti	Üretim Enerji Miktarı	Toplam Üretim Enerji Sarfiyatı
Mevcut:							
Döşemeler	Betonarme	138.00 m ³	2500 kg/m ³	79.893 TL	11.025.234 TL	9969 MJ/m ³	1.375.722 MJ/m ³
Kirişler	Betonarme	71.00 m ³	2500 kg/m ³	79.893TL	5.672.403 TL	9969 MJ/m ³	707.799 MJ/m ³
Kolonlar	Betonarme	10.50 m ³	2500 kg/m ³	79.893TL	838.876 TL	9969 MJ/m ³	104.674MJ/m ³
Temel	Betonarme	17.00 m ³	2500 kg/m ³	79.893 TL	1.358.181 TL	9969 MJ/m ³	169.473 MJ/m ³
Dış Duvarlar	Boşluklu Tuğla	201.07 m ³	1200 kg/m ³	187.957 TL	37.792.513 TL	3132 MJ/m ³	629.751 MJ/m ³
İç Duvarlar	Dotu Tuğla	141.60 m ³	1750 kg/m ³	187.957 TL	26.614.711 TL	4898 MJ/m ³	693.556 MJ/m ³
TOPLAM					83.301.918 TL		3.680.975 MJ/m³
Alternatif							
Döşemeler	Betonarme	110.00 m ³	2500 kg/m ³	79.893 TL	8.788.230 TL	9969 MJ/m ³	1.096.590 MJ/m ³
Döşeme Dolgusu	Asmolen (Ponazdan)	28.00 m ³	700 kg/m ³	7.192 TL	201.376 TL	720 MJ/m ³	20.160 MJ/m ³
Kirişler	Betonarme	71.00 m ³	2500 kg/m ³	79.893 TL	5.672.403 TL	9969 MJ/m ³	707.799 MJ/m ³
Kolonlar	Betonarme	10.50 m ³	2500 kg/m ³	79.893 TL	838.876 TL	9969 MJ/m ³	104.674 MJ/m ³
Temel	Betonarme	17.00 m ³	2500 kg/m ³	79.893 TL	1.358.181 TL	9969 MJ/m ³	169.473 MJ/m ³
Dış Duvarlar	Pomzatalı Biriket	201.07 m ³	700 kg/m ³	50.608 TL	10.175.750 TL	720 MJ/m ³	144.770 MJ/m ³
İç Duvarlar	Pomzatalı Biriket	141.60 m ³	700 kg/m ³	73.151 TL	10.358.181 TL	720 MJ/m ³	101.952 MJ/m ³
TOPLAM					37.392.997 TL		2.345.418 MJ/m³

Tablo 3. Binalarda üretim enerji tasarrufu sağlamak için bir örnek

Pomza katkılı malzemelerin kullanılması sonucu dış duvarların ısı yalıtım değeri yükseldiği gibi ağırlıklarında iç duvarlarda % 60 ve dış duvarlarda % 41.66 oranında azalmıştır. Bu azalma mevcut tasarrufa ilaveten döşeme, kiriş, kolon ve temel boyutlarına ve donatı miktarlarına maliyet ve üretim enerji miktarı azaltıcı bir şekilde etki edecektir.

2.2. Binaların Bakım ve Onarımı İçin Harcanılan Enerji

Binalar kullanımları sıralarında belirli zaman periyodları içerisinde temizlenir, boyanır, eskiyen çürüyen kısımları ve herhangi bir şekilde hasar görmüş kısımları tamir edilir.

Bunun dışında binalar belirli bir yaşa geldiklerinde sosyo-kültürel gelişmelere paralel olarak iç mekanlarının yeniden düzenlenip, restore edilmeleri gerekmektedir.

Bu yapılmadığı takdirde Adana tarihi kentsel dokusunda saptanmış bulunduğu aşağıdaki duruma çıkabilir.

Adana'da tarihi evler, asıl kullanıcıları tarafından iç mekan organizasyonlarının ve büyüklüklerinin bugünkü küçülen aile yapısına uyamaması ve çağdaş konfor ihtiyaçlarına cevap vermekten uzak olmaları nedeni ile terk edilmekte, genellikle şehre yeni göç edenler tarafından geçici mekanlar olarak kullanılmaktadır.

Bu meskenlerdeki kullanıcıların bölgedeki yaşamlarını geçici görmeleri ve ilk fırsatta şehrin prestij yönünden daha iyi bölümlerine geçmeyi düşünmeleri nedeni ile gerek mekansal, gerekse yapısal bozuklukları gidermek için herhangi bir çalışma yapmadıkları gözlenmektedir.

Bunun sonucu olarak tarihi yerleşim merkezleri, özellikle Tepebağ mahallesi, fiziksel

karakterlerini kaybederek slumlaşma olarak nitelendirebileceğimiz bir gelişim sürecine girmiş ve yıkılarak yok olmaya başlamışlardır.

Bu gelişimden yeni yapılan binalar için ders almak, gerek konstrüksiyonda gerekse planlamada optimum esneklik sağlayarak, binanın az bir masrafla oluşabilecek yeni ihtiyaçlarına göre düzenlenebilmesini sağlamak gerekmektedir.

İnşa edilen bir binanın kullanım ömrünün ortalama 50 yılı olduğu kabul edilirse, bu süreç sonunda binanın değişen çevreye, ev aletlerindeki teknolojik gelişmelere, sosyo-kültürel değer yargılarıyla oluşan aile ve konut anlayışına uyum sağlayacak şekilde yeniden düzenlenerek ikinci bir 50 yıllık süreç için kullanıma açılabilmesi gerekmektedir.

Bina planlanırken, binanın konstrüksiyon olarak kullanılan süresinin mümkün olduğu kadar uzun olması sağlanmalıdır. Bu şekilde bina sadece iç mekan düzenlemeleri ile yeni ihtiyaçlara cevap verir düzeye gelecek ve yıkılıp yeniden yapılmasına gerek kalmayacaktır. Bu amaca ulaşabilmek için değişik mekan organizasyonlarına ve gerektiğinde cephe düzenlemelerine imkan tanıyacak strüktürler seçmek yararlı olacaktır.

Seçilen yapı elemanlarına demonte edildikten sonra başka bir amaca yönelik kullanılabilmesi ve yok edilmesi gerektiğinde çevreye minimum zarar verecek malzemelerden imal edilmesi gerektiğinde gözardı edilmemelidir.

2.3. Binanın Yıkımı İçin Harcanması Gereken Enerji Miktarı

Genelde tarihi ve mimari herhangi bir değeri olmayan, planlaması ve yapıldığı yapı malzemesi günün ihtiyaçlarına göre ekonomik restorasyona imkan tanımayan binalar, buldukları arsanın ve çevresinin getirebileceği daha yüksek değerleri elde edebilmek için yıkılmaktadırlar. Gerek yıkım için, gerekse yıkımdan sonra enkazın taşınması ve atıkların yok edilmesi için kullanılan makina ve teçhizatın sarfettiği enerji bu gruba dahil edilebilir.

Şehirlerimizin plansız ve hızlı bir şekilde büyükte olması sonucu, şehrin en değerli yerleşim ve ticari bölgeleri haline gelen bölgelerdeki binalar arsanın kazandığı son statüden optimum bir şekilde kar etmek amacı ile yıkılarak yeniden yapılmaktadır.

Şehir planlamalarında bu gibi gelişmelere dikkat edilmeli, şehirler ve yakın çevrelerinde yeni yerleşim bölgeleri ve merkezler yaratılarak, belirli bölgelerdeki arsaların aşırı değerlendirilmesi kontrol altına alınmalıdır.

Bu şekilde mevcut binaların kat sayılarını arttırmak için yapılan politik baskılar kendiliğinden kalkacak ve eskiyi yıkıp, yerine biraz daha yüksek ve modern olarak yenisini yapmak kar getirici olmayacaktır.

Bu tip yıkımlarda genelde yapıların çok eski olmaması ve insan iş gücünün ülkemizde halen çok ucuz olması nedenleri ile, yapı elemanlarının bir bölümünün ikinci el malzeme olarak satılacak şekilde az zayıyla demonte edilmesi mümkün olmaktadır. Satılmayan malzemeler şehrin yakın çevresindeki boş alanlara dökülmektedir.

Burda en önemli konulardan biri, satılması mümkün olmayan kalıntıların çevreyi kirletmeyecek şekilde ortadan kaldırılmasıdır. Kalıntı içerisindeki metal alaşımlarının, boya artıklarının ve diğer malzemelerinin toprağı ve yeraltı sularını değişik düzeyde kirletebileceğı ve bunların temizlenmesinin de bazı hallerde mümkün olmayacağı dikkate alınmalıdır.

Prefabrik sandviç duvar elemanları gibi değişik malzemelerin karışımları ile elde edilen yapı malzemeleri, binanın yıkılması halinde birbirinden kolaylıkla ayrılacak şekilde imal edilmelidir. Bu şekilde aynı özellikleri taşıyan malzemeler bir arada tasnif edilerek çevreye zarar vermeden yok edilebilmeli veya başka bir amaç için yeniden kullanılabilirdir.

Binaların esnek ve strüktürlerinin ilerde olabilecek değişikliklere uyabilecek şekilde planlanmasının; yıkım tehlikesini, bununla meydana gelecek değer kayıplarını ve enerji zayıflarını önleyecek en önemli faktör olduğunu, mimar ve mühendislerin projelerinin her safhasında dikkate almaları gerekmektedir.

2.4. Binaların Kullanımları Esnasında Kullanıcıların Harcadığı Enerji

Bu grupta, kullanıcıların binayı ısıtmak, soğutmak, aydınlatmak için sarfettikleri enerji ve kendi ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik kullandıkları enerji (sıcak su, yemek pişirme, ev işlerini yapmak için kullanılan aletler) toplanabilir.

Arbeitsgemeinschaft für zeitgemeasses Bauen, e.V.'nin (7) yaptığı araştırmalarda modern bir evin kullanımı esnasında meydana gelen toplam enerji sarfiyatı, % 80,7 oranında binanın ısıtılması ve sıcak su elde edilmesi, % 3 Pişirme, % 4,2 soğutucuda muhafaza etme, % 3,8 Yıkama, ütöleme ve temizleme, % 1,3 aydınlatma ve % 0,6 hobby ve televizyon seyretme ve % 6,4 diğerleri olmak üzere dağılmaktadır.

Rumpf'un (8) Almanya'daki geleneksel evler üzerine (Almanya'daki geleneksel evler bizde halen uygulanmakta olan karkas yapım sistemlerinin aynısıdır) yaptığı araştırmalara göre bir evin ısıtılması için sarfedilen enerjinin % 5-8'i yanmadan, % 10-12'si ise seçilen ısıtıcının özelliklerine bağlı olarak duman içerisinde kullanılmayan ısı enerjisi olarak binayı terketmekte, ısıtılacak mekanın içine ulaşan enerjinin ise % 30-45'e kadar bir bölümü dış duvar ve pencerelerin ısı yalıtım kaliteleri oranında binayı terketmektedir.

İstanbul, Ankara ve Adana gibi çok farklı iklimsel özellikleri olan bölgelerde yapılmış ve yapılmakta olan binaların hemen hemen tamamı beton karkas sistem ile imal edilmektedir. İncelemiş olduğum binaların % 90'ında dış duvarların 19 cm'lik tuğla ile örülmüş ve bu duvarların içten ve dıştan sıvanmış olduğunu, pencerelerin 4-5 cm kalınlığında ahşaptan yapıldığını ve 3-4 mm'lik cam kullanıldığı saptanmıştır.

Böyle bir dış duvar ve pencere tipi, mevcut ısı yönetmeliğine göre yurdumuzun hiç bir yerinde uygulanmamalıdır. Bu tip yapı elemanları yüksek ısı geçirim özelliklerinden dolayı çevreledikleri mekanlarda kış ve yaz ne tür iklimlendirme cihazı kullanılırsa kullanılsın konforlu bir iç ortam elde edilmesini ancak çok yüksek enerji sarfiyatı ile ve

iklimlendirme cihazı çalıştığı müddetçe sağlayabilirler.

Ödemeler dengesinde büyük açıklara neden olarak ithal edilen petrolün ve havayı kirleterek atmosferdeki karbonmonoksit miktarını yükselten kömürün yarısı, yanlış bina planlaması ve detaylandırılması sonucu hiç faydalanılmadan havaya atılmaktadır.

Tüm bu veriler ister istemez ülkemizin her yıl milyonlarca dolar havaya atacak kadar zengin olup olmadığı sorusunu akla getirmektedir.

3. SONUÇ

Gittikçe artan nüfusumuz ve yükselen yaşam standartlarına paralel olarak enerjiye olan talebin devamlı ve hızlı bir şekilde yükselmesi, ülkemizin doğal enerji rezervlerinin giderek azalması ve fosil enerji türlerinin kullanılması ile meydana gelen çevre kirliliklerinin yarattığı zararlar düşündürücü boyutlara ulaşmıştır.

Ülkemiz içerisinde sarfedilen enerjinin önemli sayılabilecek bir bölümünün binaların ısıtılması için olması, enerji tasarrufu konusunda mimarlara çok büyük görevler düştüğünü göstermektedir.

Mimar, şehir plancısı ve mühendis adaylarının üniversite eğitimi sırasında, malzeme seçerken gerek çevre kirliliği, gerekse ülke ekonomimizin çıkarlarını gözönüne almaları konularında bilgilendirilmeleri gerekmektedir.

Ayrıca bu konuda meslek odalarının konferans, seminer ve paneller vasıtası ile mesleğini fiilen icra etmekte olan mimarları, şehir plancıları ve mühendisleri esnek, iklimsel ve ekonomik bina planlaması konularında bilgilendirmeleri milli çıkarlarımız için yararlı olacaktır.

Binaların nasıl parasal maliyetleri saptanıyorsa, tüm enerji maliyetleri de saptanılmalıdır. Metraji çıkartılmış bir binanın Bayındırlık Bakanlığı Birim fiyat listesine göre keşif özeti çıkartılmasına paralel olarak, geliştirilmiş tablo 2'ye göre üretim enerji maliyetleri ve binanın yurt ekonomisine ve döviz harcamalarına etkinliği özetlenmesi yararlı olacaktır.

Bu konuda basit bir hesaplama sistemi geliştirilmesi için Çukurova Üniversitesi Mimarlık Bölümünde araştırmalara başlanılmıştır.

İklimsel ve minimum enerji sarfiyatı sağlayabilecek bina planlaması için, mimar ve mühendislerin dikkat etmesi gereken hususlar aşağıda kısaca özetlenmiştir:

- a) Bir binanın iklimlendirilmesi ve su ısıtılması için çevreden elde edilebilecek enerji kaynaklarını kullanmak. Tabii çevrede enerji kazanabilecek kaynaklar yer sıcaklığı (özellikle tabii sıcak su kaynakları), su gücü, rüzgar gücü, güneş enerjisidir. Bunlar arasında kullanımı en ucuz enerji kaynağı Güneş enerjisidir. Güneş enerjisinin pasif olarak kullanılabilmesi için mekanların mikroklimatik verilere göre doğru yönlendirilmesi, kompakt geometrik bina formları ve yeterli büyüklükte iyi yalıtılmış ve doğru yönlendirilmiş pencereler gereklidir.

- b) Dış yapı elemanlarını yapı fiziği ve konstrüksiyonu açısından inşa edildikleri yöreye göre yeterli düzeyde olacak şekilde imal etmek. Yapı elemanlarının (Pencere, duvar, çatı ve zemin kat döşeme yüzeyi) ısı geçirim katsayısını minimum düzeyde tutmak. Isının geçebileceği alanları (betonarme döşeme ve duvarların birleşim yerlerinde, balkon konsolları ile döşeme birleşim yerlerinde ve kolonlar ile duvar birleşim yerlerinde) doğru detaylandırma ile minimuma indirmek. Bina kütlelerini mümkün olduğu kadar az parçalanmış yapılarak ısı kaybedecek dış yüzeyleri azaltmak. Pencerelerin ısı geçirme katsayısını düşük tutmak. Geceleri ısı kaybı olmaması için pencerelerin üzerine ısıyalıtım değeri yüksek bir tabaka (özel imal edilmiş jaluji gibi) getirmek.
- c) Dumanla kaybolan ısı miktarı, ısı üretim sistemi ve ısıtılacak mekan arasında kurulan ısı dağıtım sistemini meydana gelebilecek ısı kayıplarını minimize etmek. Kullanıcının geceleri ısıtma sisteminin minimum düzeyde çalıştırarak ve mekanların havalandırmasını bilinçli bir şekilde yaparak, ısı kaybını azaltmaya katkısını sağlamak.
- d) İnşaat sektöründe enerji sarfiyatı minimum olan yapı malzemeleri üretilmesini teşvik etmek ve imalatında az enerji sarfiyatına gerektiren yapı malzemelerini seçmek.
- e) Şantiyede harcanan enerji miktarını iyi bir yapı organizasyonu ve malzeme seçimi ile minimuma indirmek.
- f) Depreme dayanıklı çok katlı yığma yapı sistemleri geliştirerek demir, çimento gibi üretimlerinde çok fazla enerji sarfiyatına neden olan yapı malzemelerinin, yöresel yapı malzemeleri ile değiştirilmesini mümkün kılmak. Bu aynı zamanda bina yıkılması gerektiğinde elde edilen artık maddelerin tabii çevreye zarar vermeden tekrar tabiata dönmelerine imkan tanyacak ve nakliye için harcanılan enerji miktarını minimuma indirmeyi mümkün kılacaktır.
- g) Binanın yıkılmadan, sonradan uygulanabilecek yeni fonksiyonlara ve teknik gelişmelere uyum sağlamasını esnek planlama yaparak mümkün kılmak. Binanın yıkımında sarfedilecek enerji miktarını seçilen yapı sistemi ile minimize etmek. Yıkımdan sonra elde edilen yapı malzemelerinin yeniden kullanılabilme veya ekolojik dengeyi bozmadan yok edebilme imkanlarını planlama safhasında dikkate almak.
- h) Binalar inşa edilirken sıkı bir şekilde denetlenmesini ve mevcut yapı ve ısı yönetmeliklerine uygun olarak yapılmasını sağlamak. Yönetmeliklere uymadan yapılan yapılara hiç bir şekilde ruhsat verilmemesini ve mevcut yanlış inşa edilmiş olan binalar tesbit edilerek yönetmeliklere uygun hale getirilmelerini sağlamak. Bu şekilde milyonlarca dolarlık fosil enerjinin heba olması önlenmiş olacak ve elde edilecek artı değerlerin ekonomimizin diğer alanlarına kaydırılması mümkün olacaktır.

4. KAYNAK

1. DİE, Türkiye İstatistik Yıllığı, 1989, Türkiye Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü, Ankara, 1990.
2. DPT, 6. Beşyillik Kalkınma Planı, Ankara, 1990.
3. Krusche, P., Althaus, D., Gabriel, I., Ökologisches Bauen, Yayınlayan: Umwelt Bundesamt, Bauverlag GmbH., Wiesbaden und Berlin, 1982.
4. Marbe, W., Die Primärenergiegehalt von Baustoffen, Yayınlanmamış Diploma Tezi, Diplomarbeit an der Universität Karlsruhe, Karlsruhe, 1980.
5. Pişirici, E., Konutlarda, Maliyetin Fonksiyonel Yapı Elemanlarına Dayalı Olarak Belirlenmesi, Yayınlayan: TÜBİTAK, yayın no. a46, Ankara, 1981.
6. Bayındırlık Bakanlığı Birim Fiyat Listesi, Yayınlayan: Bayındırlık Bakanlığı, Ankara, 1990.
7. Arbeitsgemeinschaft für zeitgemässes Bauen, e. V., Kiel, Energieeinsparung, Teil 1-und 2, Kiel, 1980.
8. Rumpf, H., Energie und Sinnvolle Energieanwendung, Energie Verlag, Heidelberg, 1983.

SİLİNDİRİK YAPI ETRAFINDA DIŞ AKIMDA AKIŞ KAYNAKLI TİTREŞİMLER İÇİN ARD-İZ/OSİLATÖR MODELİ

Suat CANBAZOĞLU

Erciyes Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Kayseri / Türkiye

ÖZET : *Silindirik bir yapı etrafındaki dış akımda, silindirden kopan vorteksler silindirik yapıyı rezonansa götürebilir. Bu nedenle tasarım aşamasında tehlikeli olan bu durumun oluşup oluşmayacağı kontrol edilmelidir.*

Bu çalışmada, rijit ve elastik bağlı silindirik yapılar etrafındaki dış akımda, lineer olmayan osilatör modeli kullanılarak silindirik yapı titreşimlerinin maksimum cevap genliğini tahmine yarayan bir modelin tanıtımı yapılacaktır. Ard - İz osilatör modeli olarak bilinen bu model silindirin arkasındaki iz bölgesinde momentum denkleminin bazı kabuller altında çözümüne dayanır. Bu modelin orta ve büyük genlikli titreşimler için iyi sonuçlar verdiği bilinmektedir.

WAKE OSCILLATOR MODEL FOR FLOW - INDUCED VIBRATIONS IN EXTERNAL FLOW AROUND CYLINDRICAL STRUCTURES

ABSTRACT : *In external flow around a cylindrical structure, vortices shedding from cylinder may bring the cylinder into resonance. Due to this reason, it must be controlled in the design state.*

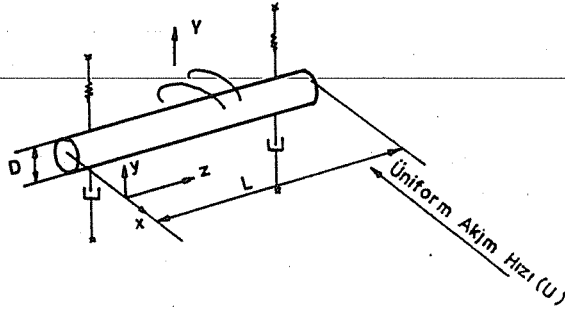
In the present study, a non-linear oscillator model which predicts maximum amplitude of vibrations occurred in the external flow around a rigid and elastically supported cylindrical structures will be explained. This model which is called as wake oscillator model is based on the solution of momentum equation under some assumptions in wake region of cylindrical structure. It is known that wake oscillator model has given good results especially for oscillations with moderate and large amplitude.

1. GİRİŞ

Ard-iz osilatör modeli silindir etrafındaki akışkan hareketinin silindir eksenini doğrultusunda tam olarak korele edildiği kabulüne dayanmaktadır. Reynolds sayısının ($1000 < Re < 100\ 000$) aralığı için elastik bağlı rijit silindirik yapılar için model iyi sonuçlar vermektedir. Modelde elastik bağlı silindirin arkasında oluşan iz bölgesinin dışındaki akımın iki boyutlu potansiyel bir akım olduğu ve silindirik yapıya etkiyen kuvvetin akımın hızının ve ivmesinin bir fonksiyonu olduğu kabul edilmiştir. Silindire etkiyen kuvvet harmonik bir ifadeyle tanımlanmıştır.

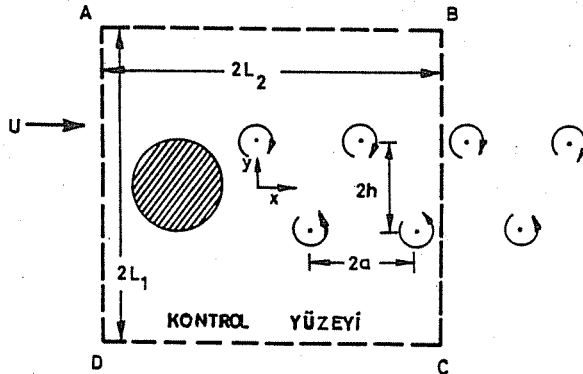
2. MODELİN TANIMI

Dairesel kesitli, elastik olarak monte edilmiş, sönümlü, rijit bir silindirik yapı etrafındaki üniform akım gözönüne alınsın (Şekil-1).



Şekil-1 : Üniform akım içerisindeki silindirik yapı.

Silindirik yapı arkasında oluşan iz bölgesinde düzenli bir vorteks katmanının olduğu ve vortekslerin kopma frekanslarının iyi bir şekilde ifade edilebildiği kabul edilmektedir (1). Silindire etkiyen kuvvetler Şekil-2'de görülen kontrol hacmi için y yönündeki momentum denklemiyle belirlenmektedir.



Şekil-2 : Kontrol hacmi.

Kontrol hacmi için y yönündeki momentum denklemleri:

$$P_y = \frac{dJ_y}{dy} + S_y + F_y \quad (1)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada P_y , x eksenine paralel olarak kontrol yüzeyine etkiyen basınç (statik kaldırma) kuvvetini, J_y kontrol hacmi içinde y yönündeki momentumu, S_y kontrol yüzeyinden birim zamanda geçen momentumu (momentum akısını) ve F_y ise vortekslerin kopma etkisiyle silindire etkiyen dinamik kaldırma kuvvetini göstermektedir. L_2 'nin sonlu, L_1 'in sonsuz değerleri için AB ve CD sınırlarında basınç kuvvetlerinin integrasyonundan,

$$P_y = 0 \quad (2)$$

olacağı aşikardır. J_y ise,

$$J_y = \int_A \int \rho v \, dx \, dy \quad (3)$$

şeklinde tanımlanabilmekte olup, v hızın y bileşeni ve ρ ise akışkanın yoğunluğudur. Kontrol hacmi içinde akışkanın silindire göre bağıl hızının ağırlıklı ortalamasını temsil eden bir büyüklük olarak \dot{w} bağıl hızı tanımlanabilir. Bu temsili hız bileşeni akışkanın kontrol hacmi içerisinde y yönündeki titreşimlerinin bir ölçüsünü verir. D çaplı silindir için a_0 bir sabit olmak üzere kontrol hacmi içinde y yönündeki momentum,

$$J_y = a_0 \rho \dot{w} D^2 \quad (4)$$

yazılabilir. Kontrol yüzeyini geçen momentum akısı,

$$S_y = \rho u_t \Gamma + \text{Düzeltilme terimleri} \quad (5)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada u_t vorteks caddesinin öteleme hızını ve Γ ise silindir etrafındaki sirkülasyonu göstermektedir. $\rho u_t \Gamma$, ideal potansiyel vorteks caddesi için yazılan değer olup, lineer olmayan etkilerle viskoz etkileri modellemek için düzeltme terimlerine ihtiyaç duyulmuştur. Sirkülasyon için,

$$\Gamma = K | \dot{w} | D \quad (6)$$

kabulü yapılabilir. Burada K bir orantı katsayısıdır. Böylece S_y için,

$$S_y = K \rho u_t | \dot{w} | D + \text{Düzeltilme terimleri} \quad (7)$$

elde edilir. \dot{w} hızı vortekslerin dairesel kopma frekansı ω_v olmak üzere, harmonik bir ifadeyle tanımlanırsa, düzeltme terimleri kuvvet serisine açılarak ve sadece \dot{w} ve \dot{w}^3 'lü terimler alınarak ifade edilebilir. Böylece,

$$S_y = K \rho u_t \omega_v w D - a_1 \rho U D \dot{w} + a_2 r w^3 D / U \quad (8)$$

elde edilir. Burada a_1 ve a_2 , K ya göre küçük olduğu farz edilen boyutsuz sabitlerdir.

Silindire göre akışkanın bağıl ivmesine bağlı olan kuvvetin akışkanın bağıl ivmesinin lineer bir fonksiyonu olduğu farz edilebilir (2). Bağıl hızla silindire doğru hareket eden akışkanın silindire etki ettiği kuvvet büyüklüğü, serbest akımla silindirden sapan akım arasındaki bağıl açı ile orantılı olan kaldırma katsayısı cinsinden yazılabilir (3). Küçük açılar için bu açı $(\dot{w}-\dot{y})/U$ değerine eşittir. Burada U üniform akım hızını ve \dot{y} ise silindirin titreşim hızının genliğini göstermektedir. Böylece silindire etkileyen dinamik kuvvet,

$$F_y = a_3 \rho D^2 (\ddot{w} - \ddot{y}) + a_4 \rho D U (\dot{w} - \dot{y}) \quad (9)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada a_3 ve a_4 boyutsuz sabitlerdir.

(2), (4), (8) ve (9) bileşen denklemlerini, (1) nolu momentum denklemine taşıyarak, akışkanın titreşimini ifade eden akışkan - osilatör denklemi,

$$\ddot{w} + K \frac{u}{U} + \frac{U}{D} \omega_v w = (a'_1 - a'_4) \frac{U}{D} \dot{w} - a'_2 \frac{\dot{w}^3}{UD} + a'_3 \ddot{y} + a'_4 \dot{y} \quad (10)$$

şeklinde elde edilir. Burada,

$$K = K / (a_0 + a_3) \quad \text{ve} \quad a'_i = a_i / (a_0 + a_3) \quad (11)$$

ifadeleriyle tanımlanır.

Silindir elastik olarak monte edilmişse üzerine etkileyen akışkan kuvvetlerine cevap verecektir. Şekil-1'de verilen elastik olarak monte edilmiş, viskoz sönümlü silindirin hareket denklemi,

$$\ddot{y} + 2 \zeta_T \omega_y \dot{y} + \omega_y^2 y = a_3 \ddot{w} + a_4 \dot{w} U/D \quad (12)$$

şeklinde olacaktır. Burada,

$$a_i = \rho D^2 a_i / (m + a_3 \rho D^2); \quad i = 3, 4 \quad (13)$$

boyutsuz sabitleri, ω_y silindirin doğal dairesel frekansını,

$$\omega_y = \sqrt{k/m} / (1 + a_3 \rho D^2 / m) \quad (14)$$

k birim uzunluk başına mesnet rijitliğini (yay katsayısını), m silindirle birlikte hareket eden ilave akışkan kütesini de ihtiva eden silindirin birim uzunluğunun kütesini, ζ_T , yapısal viskoz sönüm ζ ile viskoz akışkan sönümü ζ_f 'nin etkilerini ifade eden efektif (toplam) sönüm katsayısını göstermektedir.

$$\zeta_T = (z \sqrt{k/m} / \omega_y + \zeta_f) / (1 + a_3 \rho D^2 / m) \quad (15)$$

ve ζ_f ise,

$$\zeta_f = a_4 \rho D U / (2m \omega_y) \quad (16)$$

şeklinde tanımlanır.

(10) nolu akışkan osilatör denkleminin sol tarafındaki terimler, silindire yakın ard-iz bölgesi ile silindir üzerindeki sınır tabaka arasındaki akışkan geri beslemesini (etkileşimi) ifade ederler. Bu geri besleme, vorteks kopması için ayarlayıcı bir mekanizma gibidir. (10) nolu denklemin sağ tarafındaki ilk terim, serbest akımdaki akışkan enerjisinin y yönündeki akışkan titreşimlerine transferini temsil eden bir negatif sönüm terimidir. Yani bu terim bir akım-osilatör terimidir. (10) nolu denklemin sağ tarafındaki ikinci terim ise, akışkan titreşimlerinin genliğini sınırlayan bir lineer olmayan akışkan terimidir.

(12) nolu denklemin sağ tarafındaki terimlerle ifade edilen y yönündeki (akım doğrultusuna dik) akışkan titreşimleri, silindir üzerine genliği zamanla değişen akışkan kuvvetlerinin etkimesine neden olurlar. Genliği zamanla değişen bu akışkan kuvvetlerinin şiddeti silindirin hareketine bağlıdır. Çünkü silindirin hareketi vorteks kopmasını etkileyecektir. Akışkanın silindire etki ettirdiği kuvvete eşit ve zıt bir kuvvet de silindir tarafından akışkana etkiyecektir. silindir tarafından akışkana etkiyen bu kuvvet, (10) denkleminin sağ tarafındaki sağdan son iki terimle ifade edilmiştir.

3.MODEL PARAMETRELERİ

Model parametreleri (a_0 , a_1 , a_2 , a_3 , ve a_4) silindirin sabit olarak hareketsiz ve harmonik bir kuvvetle zorlanmış durumlarında elde edilen deneysel sonuçlar kullanılarak eğri uydurma yolu ile (10) ve (12) nolu denklemler kullanılarak bulunurlar. a_3 katsayısı için $a_3=0$ almanın iyi sonuçlar verdiği görülmüştür (1). Bunun fiziksel anlamı, silindirin arka izindeki çapraz akışkan titreşimlerinin ivmesi nedeniyle oluşan atalet kuvvetlerinin mertebelerinin küçük olmasıdır.

Reynolds sayısının 200-200000 aralığında yapılan ölçümler kullanılarak dairesel kesitli, silindirik, elastik yapıların rezonans genliğinin çapa oranı,

$$\frac{A_y}{D} = \frac{0.07 \gamma}{(\delta_r + 1.9) St^2} \left[0.3 + \frac{0.72}{(\delta_r + 1.9) St} \right]^{1/2} \quad (17)$$

şeklinde bulunmuştur (2). Burada St Strouhal sayısını ($St = \omega_v D / 2\pi U$), δ_r indirgemiş sönümü ($\delta_r = (2m(2\pi\zeta) / \rho D^2)$), D silindir çapını, A_y silindirin rezonans genliğini ve γ ise silindirin titreşim modunun fonksiyonu olan geometrik bir faktörü göstermektedir ve,

$$\gamma = \Psi_{\text{mak}}(z/L) \left(\frac{\int_0^L \Psi^2(z) dz}{\int_0^L \Psi^4(z) dz} \right)^{1/2} \quad (18)$$

şeklinde ifade edilir. Burada Ψ_{mak} , $z = 0$ dan $z = L$ 'ye kadar uzanan silindir ekseninde Ψ mod şeklinin maksimum değeridir. Silindirin zamana göre yer değiştirme genliği ise,

$$y(t) = A_y \Psi(z) \text{Cos } \omega_v t \quad (19)$$

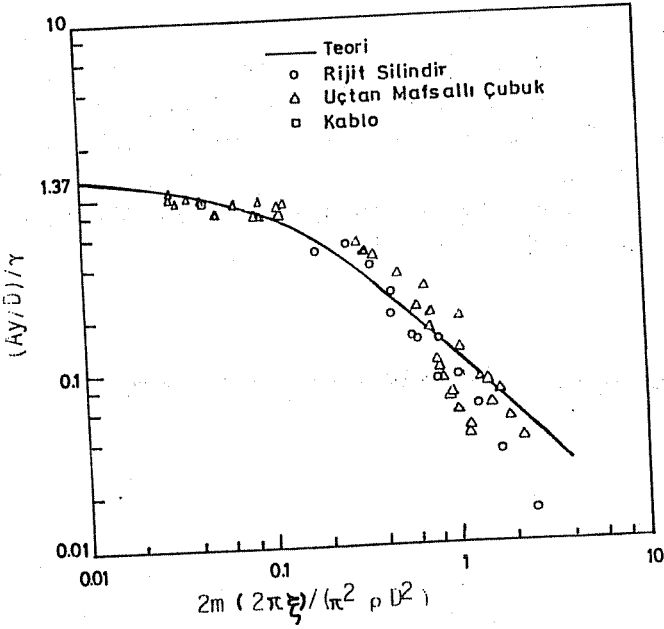
denklemleri ile ifade edilebilmektedir.

4. SONUÇLAR

Ard-iz osilatör modeli dairesel kesitli, elastik bağlı silindirik yapıları değişik mesnetlenme ve titreşim modlarında titreşim halleri için (Tablo-1) rezonans halindeki genlik değerlerinin tahmininde kullanılabilir. Şekil-3'de farklı mesnetleme durumlarına sahip silindirlerin titreşimleri için ard-iz osilatör modeli ile deneysel sonuçların mukayesesi yapılmıştır. Yapısal sönüm sıfıra yaklaşırken, vorteks kaynaklı titreşimlerin maksimum genliğinin çapın bir katı ile iki katı arasında bir limit değerine ulaştığı görülmektedir. Çapın onda biri veya daha küçük genlikteki titreşimler için model tahminleri deneysel datalardan daha büyüktür. Bu nedenle 0.1 çapın üzerindeki genlikler için ard-iz osilatör modelinin iyi sonuçlar verdiği söylenebilir.

Deneysel sonuçlarla model tahminleri arasında minimum % 2.5, maksimum ise % 25 lik farklar görülmüş olup, ard-iz osilatör modelinin silindirik yapıların rezonans genliklerinin tahmininde (özellikle silindirik yapıların orta ve büyük genlikli titreşimlerinin) tasarım aşamasında kullanılabilir olduğu söylenebilir.

SİLİNDİRİK YAPILAR İÇİN ARD-İZİSİLATÖR MODELİ



Şekil-3 : Farklı mesnetleme şekillerine sahip silindirik yapılar için yapısal sönümün fonksiyonu olarak boyutsuz rezonans titreşim genliğinin değişimi.

Tablo-1 : Bazı silindirik yapısal elemanlar için titreşim mod şekilleri ve tabii frekanslar.

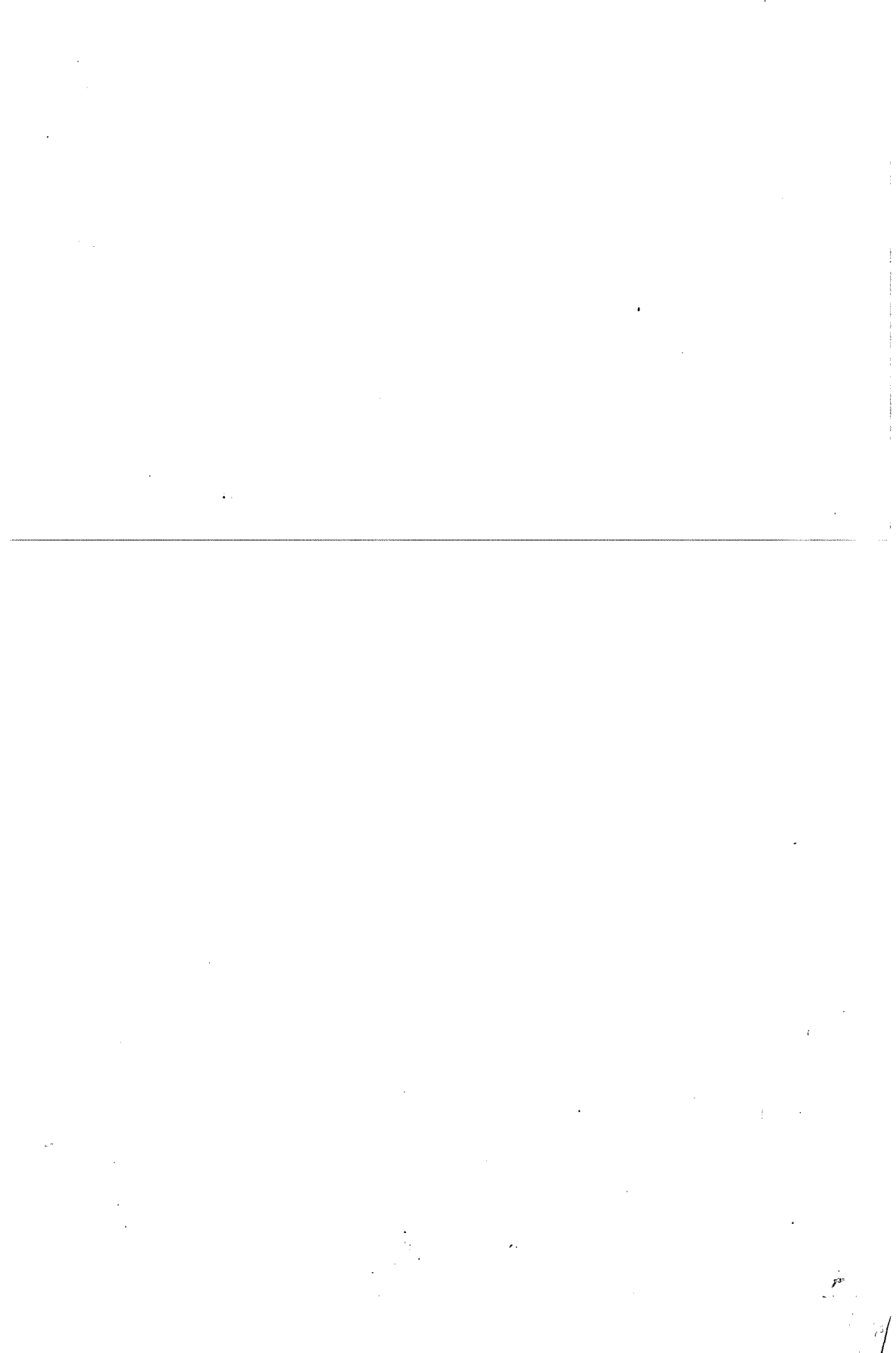
Yapısal Eleman	Mod Şekli $\Psi (z/L)$	Tabii Frekans ω_y	γ
Rijit Silindir	1	$\sqrt{k/m}$	1.000
Uçtan mafsallı düzgün çubuk	z/L	$\sqrt{\frac{3k}{mL^3}}$	1.291
Gergin ip veya kablo	$\sin \frac{n\pi z}{L}$	$n\pi \sqrt{\frac{T}{mL^2}}$	1.155 $n = 1,2,3,$
Basit mesnetli düzgün kiriş	$\sin \frac{n\pi z}{L}$	$n^2\pi^2 \sqrt{\frac{EI}{mL^4}}$	1.155 $n = 1,2,3,$
Konsol Kiriş	$(\sin\beta_n L - \sinh\beta_n L)$ $(\sin\beta_n z - \sinh\beta_n z)$ $(\cos\beta_n L + \cosh\beta_n L)$ $(\cos\beta_n z + \cosh\beta_n z)$ $\beta_n^4 = \omega_n^2 m / EI$	$\omega_1 = 3.52 \sqrt{EI/mL^4}$ $\omega_2 = 22.03 \sqrt{EI/mL^4}$ $\omega_3 = 61.70 \sqrt{EI/mL^4}$	$\gamma_1 = 1.305$ (1. mod) $\gamma_2 = 1.499$ (2. mod) $\gamma = 1.537$ (3. mod)

Tablo.1'de T, kablodaki gerilme (çekme) kuvvetini, E elastiklik modülünü ve I ise alan atalet momentini göstermektedir.

5. KAYNAKLAR

1. Iwan,W.D. and Blevins,R.D., *A Model for Vortex Induced Oscillation of Structures, J. of Appl. Mech., Vol. 41, No. 3, pp. 581-586, 1974.*
2. Blevins,R.D., *Flow-Induced Vibrations, Van-Nostrand Rheinhold Co., New York, 1977.*
3. Iwan,W.D., *The Vortex Induced Oscillations of Elastic Structural Elements, J. of Eng. for Industry, Vol. 97, pp. 1378-1382, 1975.*





YAZIM KURALLARI

Gönderilecek makaleler, Mühendislik Bilimleriyle ilgili başka bir yerde yayınlanmamış orijinal bir araştırma niteliğinde olmalıdır. Çeviri ve derleme makaleler kabul edilmez. Yazı dili Türkçe ve İngilizcedir. Dergi ofset tekniği ile basıldığından makaleler Macintosh veya Macintosh uyumlu bilgisayarla yazılmış, biri orijinal ikisi fotokopisi olmak üzere üç nüsha olarak gönderilmelidir.

Makalelerin incelenmesi yapıldıktan sonra düzeltmeler yazarlar tarafından yapılmalı, tüm şekil ve grafikler yerleştirilmiş olarak, düzeltilmiş nüshaya ait disket ile birlikte 15 gün içerisinde geri gönderilmelidir. Makalenin başlığı metne uygun kısa ve açık ifadeli olmalıdır. Başlık büyük harflerle ve sayfa ortalanarak yazılmalıdır. Makale 1.5 satır aralıkla yazılmalıdır. Alt başlıklarla ilk paragraf ve paragraflar arasında 1.5 aralık bırakılmalıdır. Yazar ad ve soyadları ünvan belirtilmeden başlığın 1 cm altına sayfa ortalanarak yazılmalıdır. Yazar sayısı birden çok ise, hepsi alt alta yazılmalıdır. Yazar adresi (Üniversite, Fakülte, Bölüm, Şehir) makale başlığının altına yazılmalıdır.

Makaleler, çizelge, şekil ve fotoğraflarla birlikte en fazla 15 sayfa olmalıdır. Ancak kısaltılması mümkün olmayan makalelerin yayınlanmasında yayın kurulu yetkilidir. Şekil ve grafikler çini mürekkep ile aydınır kağıdına veya beyaz kuşe kağıda çizilmeli, resimler parlak fotoğraf kartına siyah-beyaz ve net basılmış olmalıdır.

Çalışma herhangi bir kurumun desteği ile yapılmış ise, bu ilk sayfa altına * işaretini takip edecek şekilde dipnotu olarak yazılmalıdır.

Başlıklar 1., 2., ve alt başlıklar 1.1. 1.2.,... v.b. numaralandırılıp alt başlıklar küçük harflerle, fakat kelime baş harfleri büyük olarak yazılmalıdır. Metindeki eşitlikler (1), (2),... v.b. numaralandırılmalı ve numaralar sayfanın en sağına yerleştirilmelidir. Daktiloda bulunmayan işaretler, siyah çini mürekkep ve şablon kullanılarak (veya elle çok düzgün bir şekilde) yazılmalıdır.

Makalenin bölümleri aşağıdaki sıraya göre olmalıdır: Türkçe başlık, özet, İngilizce başlık ve özet, metin, teşekkür (gerekli ise) ve kaynaklar. Özetler en az 5, en fazla 10 satır olmalıdır. Özetten sonra makalenin İngilizce başlığı büyük harflerle ve sayfa ortalanarak yazılıp, bunun altına da "Abstract" İngilizce olarak verilmelidir. Metinde mutlaka giriş ve sonuç bölümleri bulunmalıdır. Ara bölümler Materyal ve Metod, Deneysel Çalışma, Teorik Esaslar gibi başlıklar veya alt başlıklar şeklinde düzenlenebilir.

Metin içinde kaynaklara atıfta bulunmak istenildiğinde, yazar adı verilerek veya verilmeksizin kaynak numarası parantez içinde gösterilmelidir. Numaralandırma, metinde veriliş sırasına göre yapılmalıdır. İki den fazla yazar sayısı durumunda ilk iki yazar adı yazılıp, türkçe kaynaklarda " ve diğ." yabancı kaynaklarda "et.al" ibaresi eklenir. Kaynak makale ise, önce yazar adı baş harfi, yazarın soyadı, makalenin adı (yalnız ilk kelimenin baş harfi büyük), derginin adı veya varsa kısaltılmış adı, dergi cilt ve sayısı, parantez içinde yılı ve en sona da başlangıç ve bitiş sayfaları tire ile ayrılarak verilmelidir. Kaynak bir kitap ise yazar adının ilk harfi, soyadı, kitap adı (kelime harfleri büyük), yayınevi, yayın yeri, yayın yılı ve sayfa numarası verilmelidir.

Makalesi yayınlanan yazarlara bir adet dergi, 10 adet ayrı baskı gönderilir, ancak telif hakkı ödenmez. Dergiye gönderilen yazılar, yayınlansın veya yayınlanmasın iade edilmez. Makaleleri yayınlama yetkisi dergi yayın kuruluna aittir.

Yayınlanması istenen makaleler aşağıdaki adrese gönderilmelidir.

Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
Dergi Yayın Kurulu Başkanlığı
01330 Balcalı-ADANA

Eğik Eğilme ve Eksenel Yük Altında Gelişigüzel Geometriye Sahip Betonarme Elemanların Taşıma Gücü Hesabı <i>Ultimate Strength Analysis of Arbitrarily Shaped Reinforced Concrete Members Under Biaxial Bending and Axial Load</i> Cengiz DÜNDAR, Bülent ŞAHİN	115
Eğik Eğilme ve Eksenel Yük Altında Gelişigüzel Geometriye Sahip Betonarme Elemanların Taşıma Gücü Hesabına Yönelik Bir Bilgisayar Programı <i>A Computer Program for Ultimate Strength Analysis of Arbitrarily Shaped Reinforced Concrete Members Under Biaxial Bending and Axial Load</i> Cengiz DÜNDAR, Bülent ŞAHİN	125
Belcik (Yıldızeli-Sivas) Yöresinde Bulunan Bazı Nummulites Türlerinin Sistematik İncelemesi <i>Systematic Study of Some Species of the Nummulites of Belcik (Yıldızeli-Sivas) Region</i> Niyazi AVŞAR	151
Kayseri Güneydoğusu (Sarız) Pliyosen Ostrakod ve Gastropod Faunası <i>Pliocene Ostracoda and Gastropoda Faunae of Southeastern Kayseri (Sarız)</i> Ümit ŞAFAK, Atike NAZİK, Muzaffer ŞENOL	171
Koçlar-Karamanlı- Ziyaret Tepe (Bertiz-Kahramanmaraş) Kurşun-Çinko Yatakları <i>Lead-Zinc Deposits of Koçlar-Karamanlı-Ziyaret Tepe (Bertiz-Kahramanmaraş)</i> Mustafa AKYILDIZ, Mesut ANIL	197
ESA Kısa Ayak Sistemi <i>ESA Shortwall Mining Method</i> Sair KAHRAMAN, Mesut ANIL	205
An Investigation of Heat Affected Zone (HAZ) and Heat-Flow During Welding by Computer Simulation Techniques <i>Kaynaklı Konstrüksiyonlarda (ITAB) Bölgesinin ve Isı Akışının Bilgisayar Simülasyon Yöntemiyle İncelenmesi</i> O.Tuğrul GÖNCEL, Ercüment ÜNAL, Onur GÜVEN	217
Öngerilmeli Kirişlerde Kesit Yüksekliğinin Seçilmesinde Pratik Bir Formül <i>A Simple Formula for the Determination of Required Depth of Prestressed Concrete Beams</i> Cengiz DÜNDAR, İsmail Hakkı ÇAĞATAY	231
İnşaat Sektöründe Enerji Tasarrufu Sağlamanın Ekonomiye ve Ekolojik Dengenin Korunmasına Katkı Olanakları <i>The Contribution Possibilities of Obtaining Energy Save in Building Sector to the Economy and the Preservation of Ecological Equilibrium</i> Yusuf GÜRÇINAR	239
Silindirik Yapı Etrafında Dış Akımda Akış Kaynaklı Titreşimler İçin Ard-İz/Osilatör Modeli <i>Wake Oscillator Model for Flow-Induced Vibrations in External Flow Around Cylindrical Structures</i> Suat CANBAZOĞLU	249