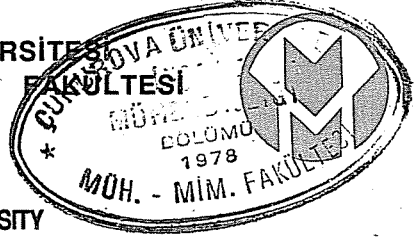


ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ  
DERGİSİ

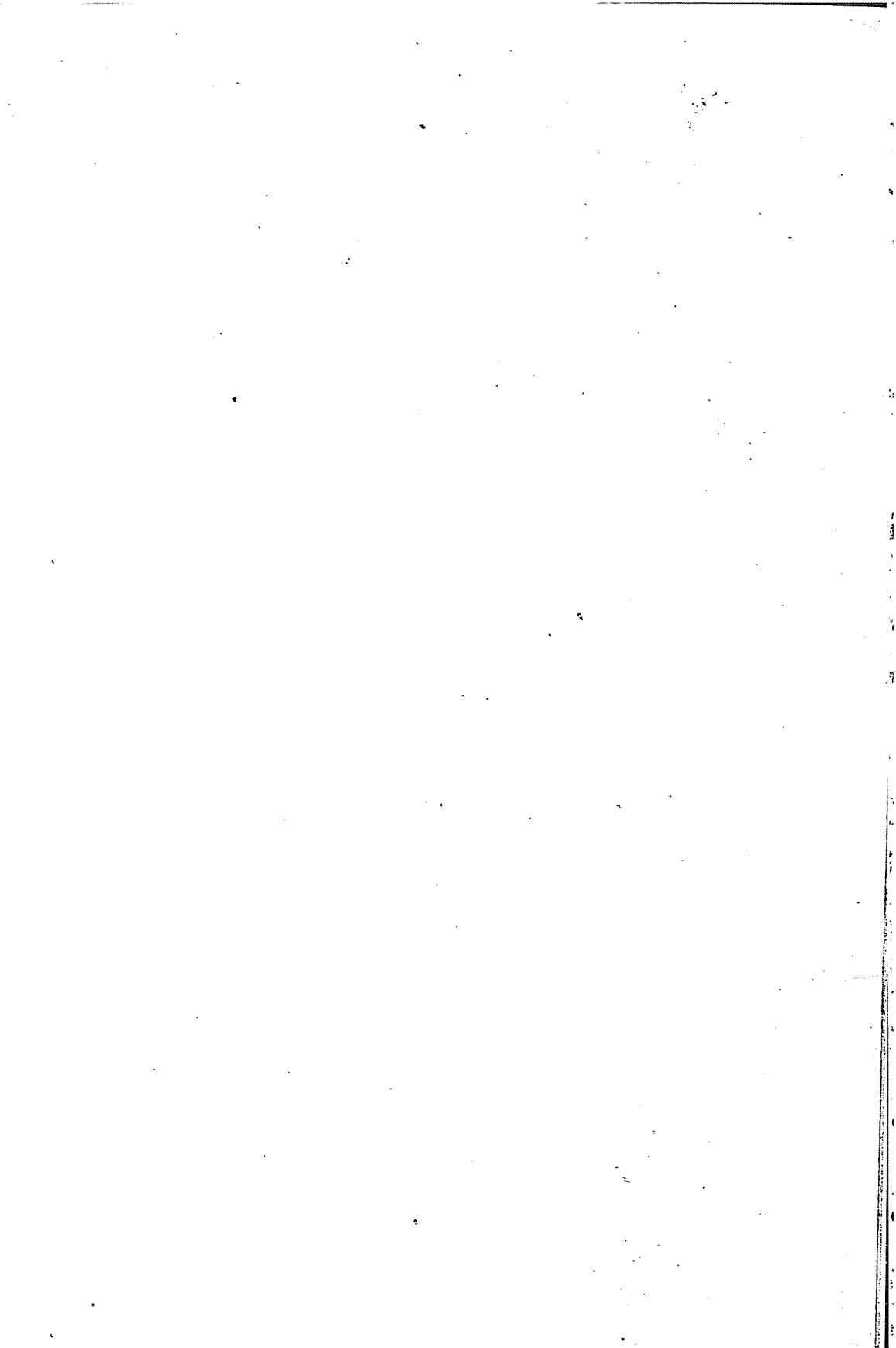


ÇUKUROVA UNIVERSITY  
JOURNAL OF THE FACULTY OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE

CİLT 5 SAYI 2 ARALIK 1990  
VOL 5 NO 2 DECEMBER 1990

İÇİNDEKİLER  
(CONTENTS)

Sarıkavak (Tarsus) Manyezit yatakları Magnesite deposits of Sarıkavak (Tarsus).....	5
.....Servet YAMAN, Ümit Naci KENİŞ	
Gezende barajı (Gülнар) rezervuar alanının Tersiyer stratigrafisi The Tertiary stratigraphy of the Gezende arch dam reservoir (Gülнар)	19
.....Ali Burak YENER, Cengiz YETİŞ	
Ortam şartlarının ve yapı malzemelerinin fiziksel özelliklerinin ısı kazançlarına etkisi The effect of atmospheric condition and physical properties of materials on heat gains.....	35
.....Tuncay YILMAZ, R. Tuğrul OĞULATA	
Gergi kontrolü için iki mekanik sistem Two mechanical systems for tension control.....	51
.....İ. Deniz AKÇALI, Mutlu ŞENYURT	
Gaz turbin malzemeleri ve tasarımı Materials for gas turbunes and design.....	65
.....O. Tuğrul GÖNCEL	
Dahili oksit çökeltilerinin Co-Cr-Al alaşımlarının oksidasyon dayanırları üzerindeki etkisi The effect of internal oxide precipitates on the oxidation resistance of Co-Cr-Al alloys.....	79
.....O. Tuğrul GÖNCEL	
Mekanik radyal sızdırmazlık elemanlarının hidrodinamik analizi I: Elastik deformasyon Hydrodynamic analysis of mechanical radial face seals I: Elastical deformation.....	93
.....Erdem KOÇ, Emel Ceyhun CULHA	
Mekanik radyal sızdırmazlık elemanlarının hidrodinamik analizi II: Yük taşıma kapasitesi ve rijitlik Hydrodynamic analysis of mechanical radial face seals II: load carrying capacity and rigidity.....	111
.....Erdem KOÇ, Emel Ceyhun ÇULHA	



Bölim



[Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page]

[Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page]

[Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page]

[Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page]

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ  
DERGİSİ**

- Sahibi : Prof. Dr. Aziz ERTUNÇ  
Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Dekanı
- Editör : Prof. Dr. Erhan KIRAL
- Yrd. Editör : Doç. Dr. Fikret IŞLER
- Yayın Kurulu : Prof. Dr. Erhan KIRAL  
Prof. Dr. M. Salih KIRKGÖZ  
Doç. Dr. Servet YAMAN  
Doç. Dr. Fikret IŞLER  
Yrd. Doç. Dr. Beşir ŞAHİN

Yazışma Adresi:  
Ç.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi  
Dergi ve Yayın Kurulu Başkanlığı

P.K. 198 Balcalı/ADANA





ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ  
DERGİSİ



ÇUKUROVA UNIVERSITY  
JOURNAL OF THE FACULTY OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE

CİLT  
VOL

5

SAYI

2

NO

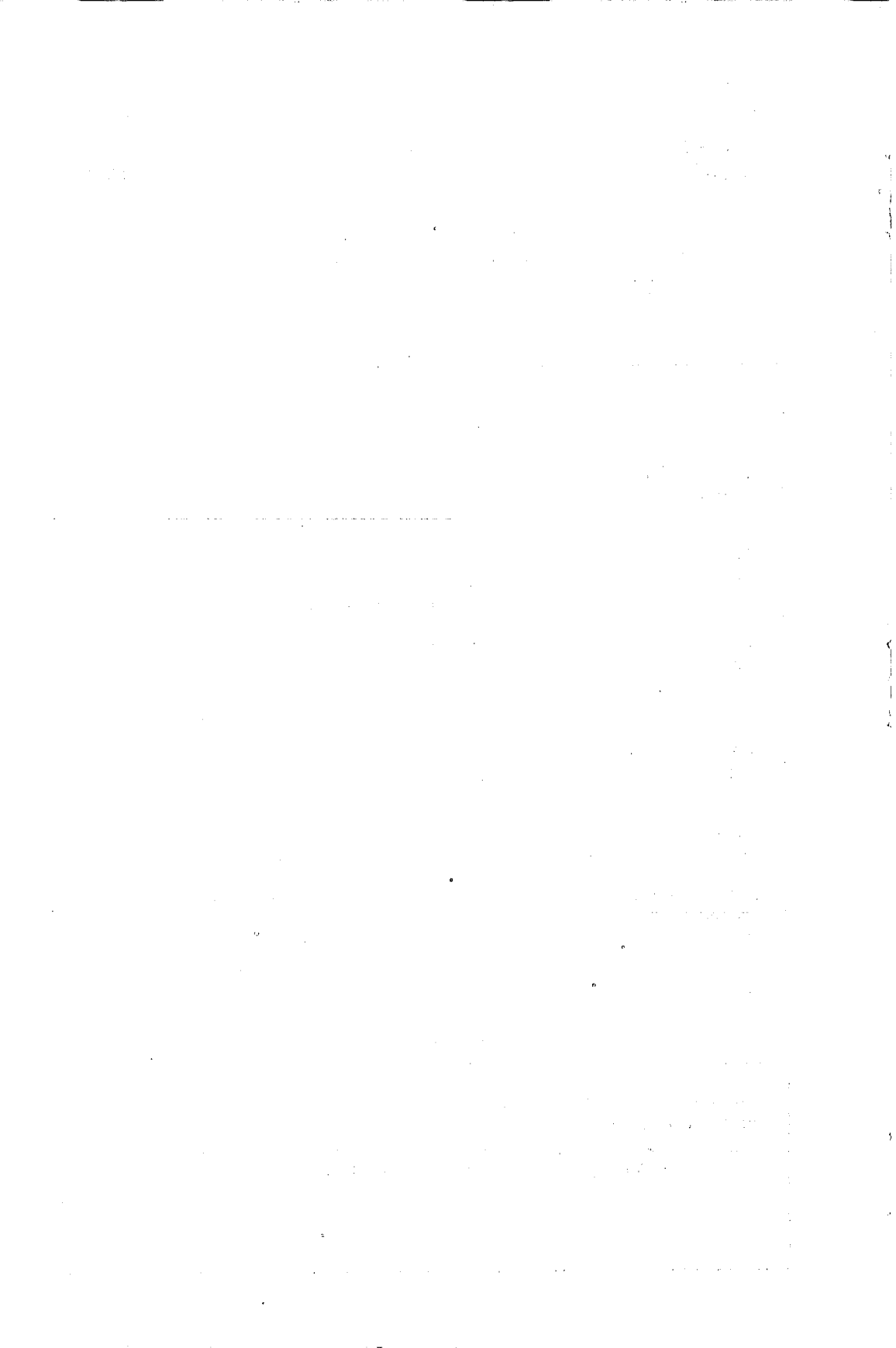
ARALIK

DECEMBER

1990

İÇİNDEKİLER  
(CONTENTS)

Sarıkavak (Tarsus) Manyezit yatakları Magnesite deposits of Sarıkavak (Tarsus)..... .....Servet YAMAN, Ümit Naci KENİŞ	5
Gezende barajı (Gülнар) rezervuar alanının Tersiyer stratigrafisi The Tertiary stratigraphy of the Gezende arch dam reservoir (Gülнар) .....Ali Burak YENER, Cengiz YETİŞ	19
Ortam şartlarının ve yapı malzemelerinin fiziksel özelliklerinin ısı kazançlarına etkisi The effect of atmospheric condition and physical properties of materials on heat gains.....Tuncay YILMAZ, R. Tuğrul OĞULATA	35
Gergi kontrolü için iki mekanik sistem Two mechanical systems for tension control..... .....İ. Deniz AKÇALI, Mutlu ŞENYURT	51
Gaz turbin malzemeleri ve tasarımı Materials for gas turbunes and design.....O. Tuğrul GÖNCEL	65
Dahili oksit çökeltilerinin Co-Cr-Al alaşımlarının oksidasyon dayanırları üzerindeki etkisi The effect of internal oxide precipitates on the oxidation resistance of Co-Cr-Al alloys.....O. Tuğrul GÖNCEL	79
Mekanik radyal sızdırmazlık elemanlarının hidrodinamik analizi I: Elastik deformasyon Hydrodynamic analysis of mechanical radial face seals I: Elastical deformation.....Erdem KOÇ, Emel Ceyhun CULHA	93
Mekanik radyal sızdırmazlık elemanlarının hidrodinamik analizi II: Yük taşıma kapasitesi ve rijitlik Hydrodynamic analysis of mechanical radial face seals II: load carrying capacity and rigidity.....Erdem KOÇ, Emel Ceyhun ÇULHA	111



SARIKAVAK(TARSUS)MANYEZİT YATAKLARI<sup>(1)</sup>Servet YAMAN<sup>(\*)</sup>Ümit Naci KENİŞ<sup>(\*)</sup>

## ÖZET

Sarıkavak (KB Tarsus-İçel) dolayının jeolojisi ve magnezit cevherleşmesi konulu bu çalışma sonucu bölgede Mesozoyik ve Senozoyike ait olmak üzere toplam 7 ayrı litostratigrafik birim ayırtlanmıştır. Mesozoyik yaşlı birimleri; otokton Demirkazık kireçtaşı, allokton konumlu Kızıldağ melanjı ile Mersin ofiyoliti, Senozoyik yaşlı birimleri ise; otokton konumlu Gildirli formasyonu, Kaplankaya formasyonu, Karaisalı kireçtaşı ile alüvyon birimi oluşturmaktadır.

Ekonomik olan ve olabilecek nitelikli 18 adet magnezit damarının belirlendiği çalışma alanındaki cevherleşme, genelde beyaz renkli, temiz ve iyi kalitededir. Yapılan çalışmalar ile cevherleşmenin serpantin metasomatozu ve yüzeysel beslenme sonucu geliştiği, cevherleşme esnasında hidrotermal kökenli bir etkinin pek olmadığı kanısına varılmıştır.

MAGNESITE DEPOSITS OF SARIKAVAK (TARSUS)<sup>(1)</sup>

## ABSTRACT

Seven different litostratigraphic units of Mesozoic and Cenozoic aged were distinguished at the result of this research related to geology and magnesite mineralization of Sarıkavak (NW Tarsus-İçel) region. Mesozoic units are represented by the autochthonous Demirkazık limestone, the allochthonous Kızıldağ melange and Mersin ophiolite. Cenozoic units are represented by autochthonous Gildirli formation, Kaplankaya formation. Karaisalı limestone and alluvium unit.

In the study area where eighteen magnesite vein having economical value, mineralization is generally white colored and displays pure and good quality. Through this study it was concluded that there was no hydrothermal effect during the mineralization, the mineralization was developed by serpentine metasomatism and surface materials.

---

(\*) Ç.Ü.Müh.-Mim.Fak.Jeoloji Müh.Böl. Adana

## Giriş

Çukurova Üniversitesi, Araştırma fonu FBE-87/6 nolu proje kapsamında desteklenen bu çalışma, Yüksek Lisans (Master) tezi olarak hazırlanmıştır. Gelişen teknoloji ile kullanım alanı genişleyen ve önemi gün geçtikçe artan, günümüzde refrakter hammaddelerinin çok kullanıldığı demirçelik, ayrıca ilaç, seramik, kimya, suni gübre, mekanik, elektrik endüstrileri gibi birçok sanayii kolunda geniş kullanım alanına sahiptir. Sarıkavak Magnezit Yataklarının jeolojik, petrografik ve metallojenik incelemesi bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

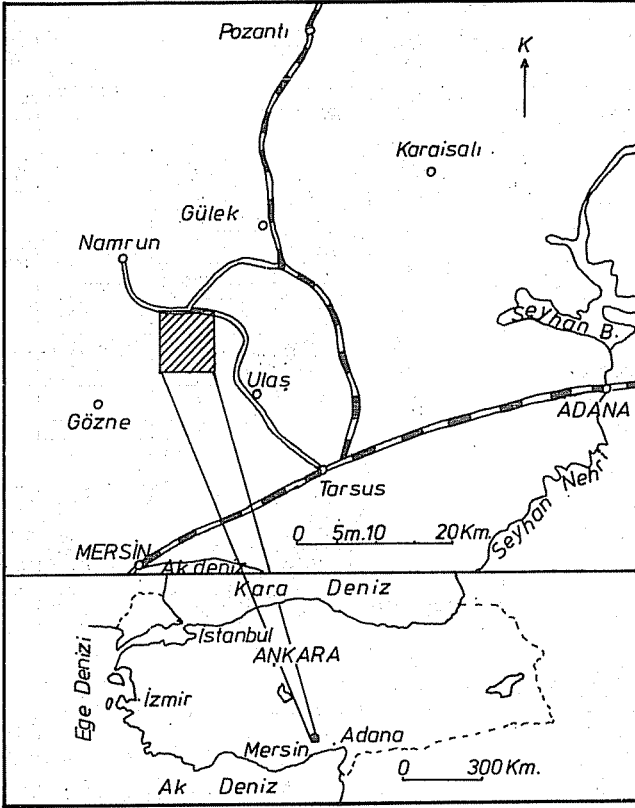
İnceleme alanı, Toros orojenik kuşağının orta Toroslar bölümünün doğu kesiminde, Adana il merkezinin yaklaşık 80 km. kuzeybatısında, Tarsus ilçe merkezinin 40 km. kuzey-kuzeybatısında yer almaktadır (Şekil 1).

Toros'ların jeolojik yapısı, evrimi ve içerdiği ekonomik değerler, yerli ve yabancı birçok araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Bölgede, Genel Jeoloji, (1, 2, 3) yaptıkları çalışmalara ilave olarak önemli detaylı stratigrafik çalışmalar yapılmıştır (4). Aynı konularda Mut-Antalya-Adana Neojen havzalarının jeolojisine bölgenin biyostratigrafik yönden incelenmesi birçok araştırmacı (5, 6) gerçekleştirilmiştir. Türkiye ofiyolitleri (7). Adana baseni kuzey-kuzeybatısının stratigrafisi (8) kuzeybatı Adana'nın litostratigrafik-kronostratigrafik incelemesi (9), Adana'nın kuzeybatı kesiminin jeolojisi (10) diğer araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Sarıkavak manyezit yatakları ilk defa bu çalışma ile araştırma konusu olmaktadır. İnceleme, Mersin ili Tarsus ilçesine bağlı Sarıkavak köyü dolaylarında, kozan N-33 - d3 nolu, 1/25 000 ölçekli topoğrafik haritada yaklaşık 130 km<sup>2</sup>.lik bir alanı kapsamaktadır.

## Araştırma Bulguları

### Stratigrafi

İnceleme alanında Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı birimler bulunmaktadır (Şekil 2). Mesozoyik; Demirkazık kireçtaşı, Kızıldağ melanjı ve Mersin ofiyoliti ile temsil edilmektedir. Senozoyik ise; Gildirli formasyonu, kaplankaya formasyonu, Karaisalı kireçtaşı ve alüvyon birimi tarafından temsil edilmektedir (Şekil 3).



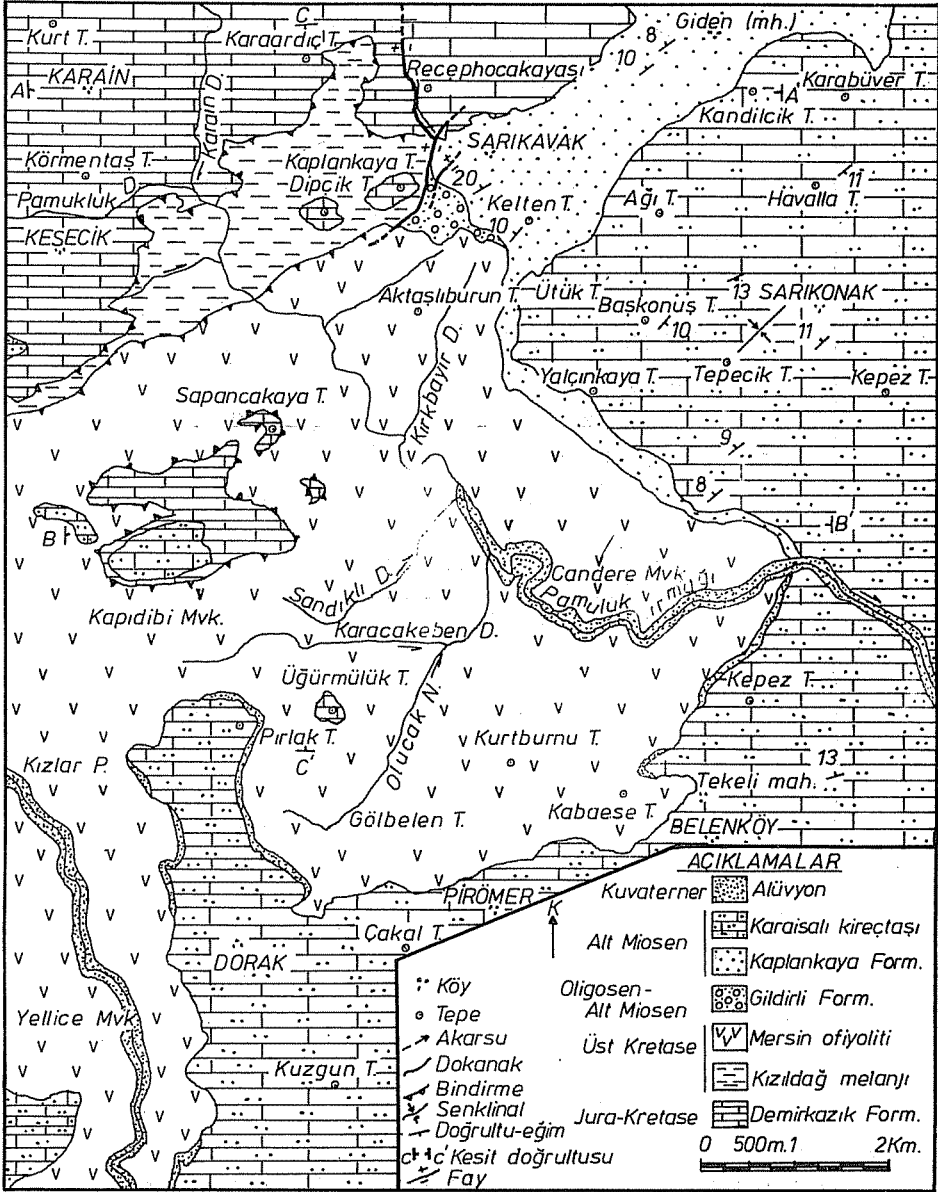
Şekil 4: Çalışma alanının yer bulduru haritası

Mesozoyik

Demirkazık Kireçtaşı

Yetiş (8) tarafından adlandırılan ve Çamardı dolayında yer alan birimi ile benzerlikler sunduğu için, Demirkazık kireçtaşı adı aynı şekilde uyarlanmıştır.

Çalışma sınırları içerisinde alt dokanağı izlenemiyen Demirkazık kireçtaşının üzerine, bazı yerlerde tektonik olarak Kızıldağ melanjı ile Mersin ofiyoliti, bazı yerlerde ise uyumsuzlukla yer yer Gildirli formasyonu, yer yer kaplankaya formasyonu, yer yer de Karaisalı kireçtaşı gelmektedir.



Şekil 2-Çalışma alanının jeoloji haritası

Demirkazık kireçtaşı; gri, mavimtrak gri, koyu gri, açık gri, pembe ve kirli beyaz gibi çeşitli yüzey renklerine sahip olup, renk tabandan tavana doğru açılmaktadır. İnce kesitler üzerinde yapılan mikroskop çalışmaları sonucunda herhangi bir fosile rastlanmamıştır. Birimin yaşı Jura-Kretase olarak saptanmıştır (10).

#### Kızıldağ Melanjı

İlk kez Ünlü Genç (10) tarafından kendi çalışma alanı içerisindeki birim için kullanılan ve ona benzerlik gösteren bu birim, tarafımızdan da aynı şekilde uyarlanmıştır. Kızıldağ melanjı çalışma alanımızın kuzeybatı kesiminde gözlenmektedir.

Kızıldağ melanjı, çalışma alanında geniş morfoloji içerisinde çeşitli boyutlarda ve farklı birimlere ait kaya blokları içermektedir. Birim içerisinde, ince kırıntılılar ve aşırı derecede serpantinize olmuş ofiyolitik malzeme, sarp ve bloklu yapıyı ise yumuşak kesim içerisinde yüzer şekilde bulunan, çoğunlukla kireçtaşları ve kısmen ofiyolitik kayaç blokları oluşturmaktadır.

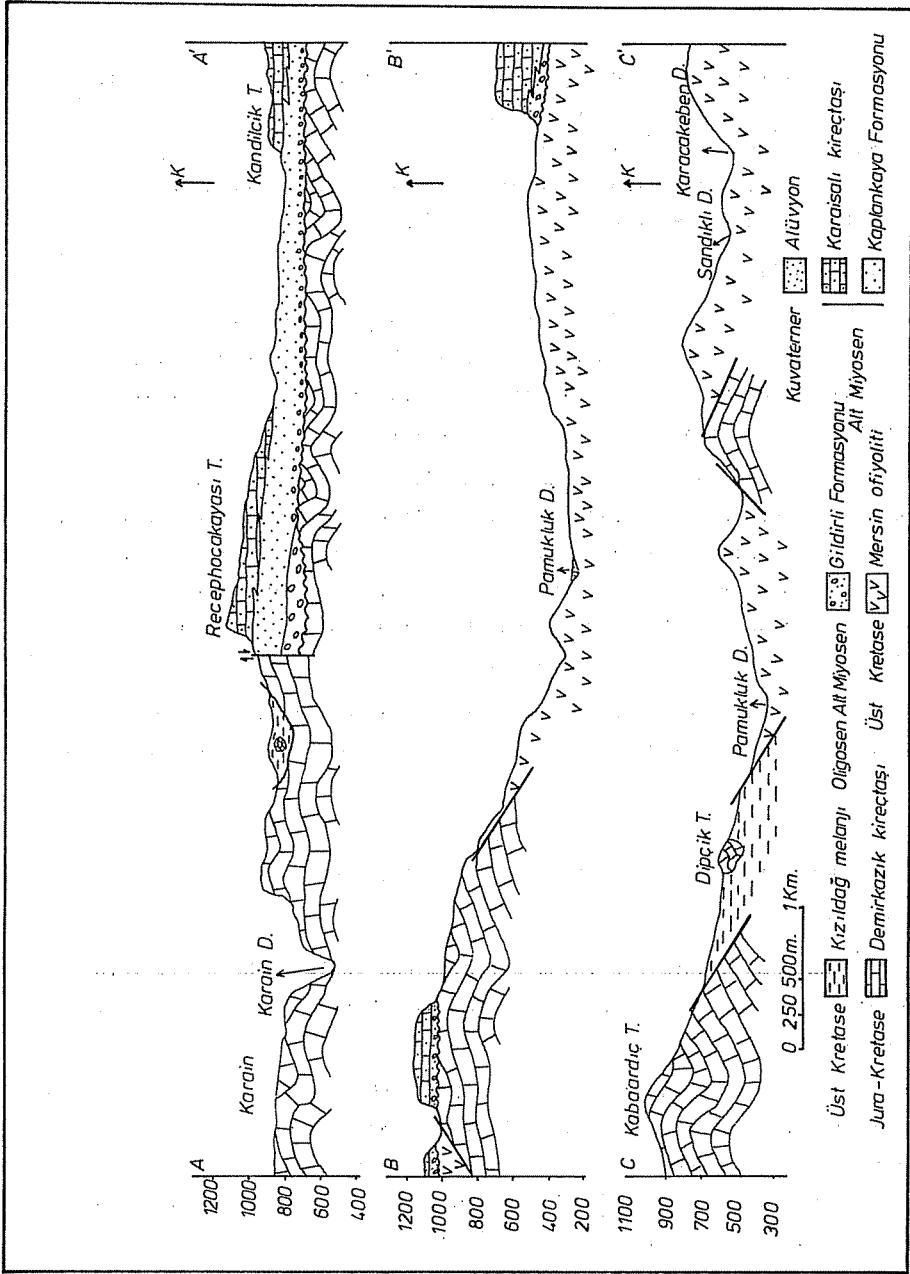
Bölgesel konumda allohton olarak gözlenen birim, Mesozoyik yaşlı Demirkazık kireçtaşı üzerinde tektonik olarak bulunmakta ve üzerine bindirme ile Mersin ofiyoliti gelmektedir.

Kızıldağ melanjı, Alt Mestriştien sırası veya sonrasında, fakat üst Mestriştien öncesinde bölgeye yerleşmiş olmalıdır (10).

#### Mersin Ofiyoliti

Çalışma alanımızın büyük bir kısmında gözlenen bu birim için, Toros ofiyolitleri ile ilgili çalışmalarda "Mersin Ofiyoliti" adını kullanmıştır (7).

Üzerinde bulundurduğu yoğun bitki örtüsüyle diğer birimlerden kolaylıkla ayırtlanabilen Mersin ofiyoliti genel olarak; zeytin yeşili, siyahımsı yeşil, kahvemsı yeşil, mavimsi yeşil, filizi yeşil, sarımsı yeşil gibi çeşitli tonlarda görülür. Geçirmiş olduğu tektonik evrim sonucu bir çok yönde (ağ şeklinde) gelişen kırıklı-çatlaklı bir yapı kazanmıştır.



Şekil 3- Sarıkavak (KB Tarsus-İçel) dolayının jeoloji enine kesitleri.



Mersin ofiyolitinin, daha çok büyük harzburjit dilimleri ile bunları kesen çok sayıda belirgin toleyitik diyabaz daykları ve birkaç cm. kalınlığında, yer yer gözlenen dunit, harzburjit, ortopiroksenit bantlanmasından oluştuğu belirtilmiştir (7). Cevherleşme bölgelerinde, cevher-yankayaç dokanağından toparlanan noktasal numunelerde yapılan petrografik incelemeler sonucunda, harzburjit ve dunit ile serpantin varlığı tarafımızdan da saptanmıştır.

Birim, kendinden hemen önce bölgeye gelip yerleşen Kızıldağ melanjının üzerinde tektonik dokanaklı olarak bulunmaktadır. Mersin ofiyolitinin üzerine uyumsuzlukla Gildirli ve kaplankaya formasyonları, Karaisalı kireçtaşı ile alüvyon birimi gelmektedir. Ancak, büyük bir merceksele oluşum şeklinde izlenen Gildirli formasyonu bazı kesimlerde çökelmemiştir. Bu yerlerde Mersin ofiyoliti üzerinde uyumsuzlukla yer yer Kaplankaya formasyonu ile Karaisalı kireçtaşı bulunmaktadır.

Bölgedeki konumu itibarıyla allokton olan Mersin ofiyoliti, olasılıkla üst Kretase başında tabanındaki karbonatlı birimler üzerine sü-rüklenme sonucu yerleşmiştir (7).

Senozoyik

Gildirli Formasyonu

Çalışma alanının daha doğusunda benzer yapıdaki birim için Gildirli formasyonu adlanması yapıldığından (4), çalışma alanındaki bu birim için de aynı isim kullanılmıştır.

Mesozoyik yaşlı birimlerin erozyon yüzeyleri üzerindeki çukurlukları doldurduğundan, yayılımında farklı kalınlıklar sunan ve Burdigaliyen (Alt Miyosen) formasyonları altında büyük bir merceksele oluşum gibi duran Gildirli formasyonu bir taban konglomerası niteliği taşımaktadır.

Birim, tabanında bulunan Mesozoyik oluşumları üzerinde uyumsuz, üzerinde bulunan Kaplankaya formasyonu ile uyumlu dokanaklıdır. Gildirli formasyonunun çökelmediği yerlerde Kaplankaya formasyonu ve bazı kesimlerde Karaisalı kireçtaşı daha yaşlı birimleri uyumsuzlukla örtmektedir.

Gildirli formasyonu, çakıltası, kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşından ibaret olup, sahip olduğu kırmızımsı-grimsi kahverengi ile diğer birimlerden kolayca ayırtlanabilmektedir.

Adana baseni kuzeybatısında yapılan gözlemlerde Gildirli formasyonunun Oligosen-Alt Miyosen zaman aralığında, düzensiz bir topoğrafyaya bağlı olarak farklı karasal fasiyeslerde gelişmiş olabileceğini belirtmişlerdir (8).

#### Kaplankaya Formasyonu

Adana'nın kuzeybatısında Kaplankaya formasyonu olarak adlandırılan birim ile benzerlikler sunan çalışma alanındaki bu birim için de aynı isim kullanılmıştır (9).

Kaplankaya formasyonu, üzerine geldiği daha yaşlı formasyonlardan Demirkazık kireçtaşı ile Mersin ofiyolitini uyumsuzlukla örtmekte, Gildirli formasyonu ile uyumlu bir dokanak ilişkisi oluşturmaktadır. Karaisalı kireçtaşı ile olan dokanak ilişkisi ise yanall ve düşey geçiş şeklindedir (Şekil 4).

Birim tabanda, elemanları daha yaşlı kayalardan türemiş, iyi pekişmiş ve yuvarlaklaşmış gri-boz renkli çakıtaşı ve çakıllı kumtaşı ile başlamaktadır. Üst taraflara doğru sarımsı boz, kirlili sarı, kirlili yeşil, mavimsi gri renkli kumtaşı ve bol gastropod, lamellibrans makro fosillerini içeren siltaşı ile ardalanmalıdır. Birimin üst seviyelerinde yeşilimsi sarı-gri renkli marnlar ile killi kireçtaşları bulunmaktadır.

Birim içerisinde, incelenen örneklerden, mikro fosiller jeoloji yüksek mühendisi Dr. Atike NAZİK, makro fosiller ise jeoloji yüksek mühendisi Dr. Ümit ŞAFAK tarafından, başlıca aşağıdaki fosiller saptanmış ve birime Burdigaliyen (Alt Miyosen) yaşı verilmiştir: Globigerina obesa Bolli, Globoquadrina altispira altispira Cushman ve Jarvis, Globigerinoides primordius Blow ve Banner, Globigerinoides ruber (d'Orbigny), Globigerinoides trilobus trilobus (Reuss), Lenticulina sp., Calcarina sp., Ammonia sp., Bairdoppilata rhomboidalis (Moyes), Neonesidea corpulenta (Mueller), Bairdia subdeltoidea (Muenster), Cytherella inaequalis Moyes, Cytherella sp., Ostrea sp., Pirerella sp., Turritella sp., Murex sp., Conus (Chelyconus) sp., Arca sp., Aloidis sp.,

#### Karaisalı Kireçtaşı

Tipik yeri ve kesiti Karaisalı (KB Adana) dolaylarında bulunan Karaisalı kireçtaşı (4), çalışma alanında oldukça geniş yayılıma sahip ve böl-

gedeki yüksek kesimlerde çoğunlukla serpantinleşmiş piroksenlerin de bastitleşmesi rol oynamıştır. Kesitlerin bir kısmında yer yer uralitleşme olayı da gözlenmektedir. Opak mineraller içinde kataklazma ve gelişen çatlaklarda boyuna, mobilize serpantinleşme mineralleri görülür.

#### Dunit

% 90'ın üzerinde olivin ve serpantin mineralleri, % 4-5 piroksen ve % 2-5 opak mineral (Krom ve manyetit) içermekte olup, taneli ve elek dokuludur. Bazı örneklerindeki çatlaklarda çok ince, sekonder kalsit dolgular vardır. Dunitlerde çok az oranda bastitleşme gözlenmektedir.

#### Serpantinit

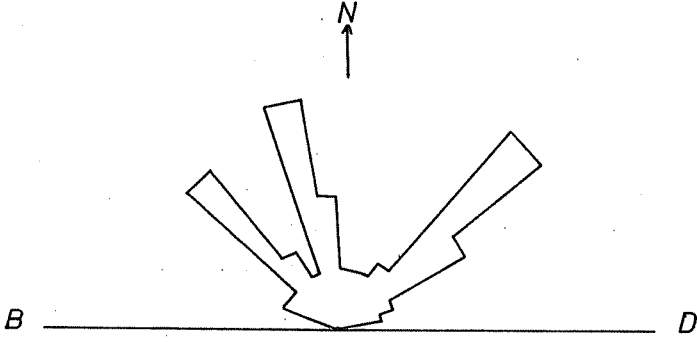
Harzburjit ile dunitlerin hidrasyonu sonucu oluşmuşlardır. Çoğu yerde dayanıksız-kırılgan bir yapı göstermektedir. Serpantinitler daha çok, ofiyolitinin bindirme hatlarında altındaki birim ile yaptığı dokanaklarda, magnetiz damarları ile olan dokanaklarında, kırık-çatlak ve diğer süreksizlik zonlarında, ofiyolitinin yüzeği ile yüzeğe yakın yerlerinde yaygındır.

#### Manyezit damarları

Manyezit beyaz renkli damar ve çatlak dolguları veya yer yer kalınlığı 2 m varan merccekler şeklinde en çok Sayaltı pınarı, Çaltıkuyu, Aktaşlıburun ile Sapancıkaya tepe mevkiilerinde yer alır. Esas damar dolguları civarında eş oluşumlu damarcık ağları görülür. Manyezit epijenetik dolgular ile yer yer kesiklikler gösterir. Esas dolgunun breşik yapısı kırılma fazlarının mineralleşmeden sonra da devam ettiğini göstermektedir. Yörede saptanan 18 adet manyezit damarına ait geometrik boyutlar Şekil 4'te verilmiştir.

Manyezit örnekleri üzerinde yapılan mikroskopik çalışmalar sonunda Parajenez'in esas olacak mikrokristalen manyezit, gang olarak serpantin minerallerinden oluştuğu saptanmıştır. Bunlara kromit, manyetit, klorit, silis ve kalsit eşlik eder. Kimyasal yönden manyezit oldukça saf kabul edilebilir (Şekil 5).

Damarların bir kısmında damar-yan kayaç kontağında belirli kalınlıkta magnezit sıvası vardır. Bu magnezit sıvası çoğu yerde serpantinit breşleri içermektedir. Diğer damarlarda ise, cevher-yan kayaç ilişkisi oldukça keskin olup, yan kayaçta magnezit sıvası pek gözlenmemektedir.



Şekil 4 - Manyezit damarlarına ait doğrultu-uzunluk diyagramı.

% Oksit \ Örnek No	1	2	3	4	5
MgO	47.17	47.25	47.62	47.62	47.76
CaO	0.45	0.65	0.65	0.55	0.34
SiO <sub>2</sub>	0.38	0.24	0.09	0.34	0.44
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.27	0.16	0.08	0.16	0.08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.06	0.06	0.04	0.07	0.05
Ates Zayıtı	51.67	51.63	51.43	51.18	51.30
Toplam	100.0	99.99	99.91	99.92	99.97

Şekil 5 : Manyezit örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları

### Cevherleşmenin Kökeni

Yöre magnezitleri, Mersin ofiyoliti olarak belirlenen ultrabazik kayalar içerisinde gelişmiştir. Bazı damarlarda, işletme amacıyla yapılan yarmalarında, birtakım cevherleşmelerin yüzeye yakın kesimlerinde geniş, aşağı inildikçe daralan bir şekle sahip oldukları ve buna benzer olarak serpantinleşmenin de yüzey ve yüzeğe yakın kesimlerinde çok, aşağı doğru azaldığı gözlenmiştir.

Yan kayacında magnezit sıvası gözlenen damarlarda cevher-serpantinli magnetiz sıvası-yan kayac şeklinde bir geçiş sözkonusudur. Yataktan yan kayac dokanağındaki bu geçiş zonundan alınan örneklerin mikroskop altında incelenmeleri sonucu, cevherleşmenin bu damarlarda serpantinli metasomatozu yolu ile geliştiği düşünülebilir. Zira, bu incelemelerde magnezitin metasomatoz ile serpantinli yerini aldığı gözlenmiştir. Fakat, cevherleşmenin merkezine doğru bu etki azalarak kaybolmakta, cevher temiz ve saf bir görünüm almaktadır. Oldukça büyük miktarda Mg gerektiren cevherleşmenin sadece metasomatoz yolu ile oluştuğunu düşünmek eksik bir varsayım olabilir. Bu durumda, metasomatoz ile birlikte; peridotitlerin hidratlaşarak serpantinli dönüşmesi sırasında açığa çıkan Mg doygunluk sınırına eriştiğinde, karbonik asit içeren sular ile kimyasal reaksiyon sonucu, muhtemelen brusit, hidromagnezit şeklinde çökelmiş, bu mineralerin de hidratlaşması ile magnezit oluşmalıdır.

Diğer damarlarda cevher-yan kayac ilişkisi oldukça keskin olup, yan kayacda ornatma izleri gözlenememektedir. Bu tür yataklarda oluşum, çalışma alanı ve çevresinde yaygın olarak gözlenen peridotitlerin hidratlaşması ile serpantinli dönüşmesi esasına dayanmaktadır. Gelişen bu olay sonucu, oldukça aktif bir element olan Mg açığa çıkmaktadır. Mg ortamda doygunluk derecesine vardığı zaman karbonik asit içeren sular ile kimyasal reaksiyona giderek, kırık-çatlak ve diğer süreksizlik zonlarında çökelmektedir.

Arazi ve laboratuvar çalışmaları dikkate alındığında, magnezit oluşumunun ofiyolit yerleşmesinden sonra ve buna bağlı olarak muhtemelen basınç ve sıcaklık (P ve T) koşullarının azalması ile birlikte geliştiklerini göstermektedir. Muhtemelen hidromagnezit kristalcikleri şeklinde toparlanan  $MgCO_3$ 'ün daha sonraları oldukça stabil olan magnezite dönüştü-

ğünü düşünmek en makul varsayımdır.

#### Sonuçlar

1-Kozan N 33-d3 paftası içerisinde yer alan Sarıkavak magnezit zuhurlarını kapsayacak şekilde, yaklaşık 130 km<sup>2</sup>. lik alanın 1/25 000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmıştır.

2-Magnezit cevherleşmelerini gösteren, yaklaşık 8 km<sup>2</sup>.lik alanı kapsayan, 1/10 000 ölçekli litolojik mostra haritası hazırlanmıştır.

3-Arazi gözlemlerine dayanılarak, sadece çalışma alanını kapsayan, bir ölçeksiz genelleştirilmiş stratigrafi kesiti hazırlanmıştır.

4-Kaplanlı formasyonu ve Karaisalı kireçtaşına ait, çalışma alanından derlenmiş örnekler üzerinde paleontolojik yaş tayinleri yapılmıştır. Sonuç olarak; her iki birimin yaşı Burdigaliyen (Alt Mi-yosen) dir.

5-Araştırmalarımız sonucunda ekonomik önem gösterebilecek toplam 18 adet magnezit damarı saptanmıştır. Yaptırılan analizler ile genel olarak iyi kalitede oldukları anlaşılan yöre magnezitleri, fiziksel görünüşleri açısından homojendirler. Tüm magnezit cevherleşmeleri mikrokristalen yapıdadır.

6-Damarlara ait yan kayaçlar içerisinde harzburjit ve dunitlerin varlığı, nokta örnekler ile saptanmıştır.

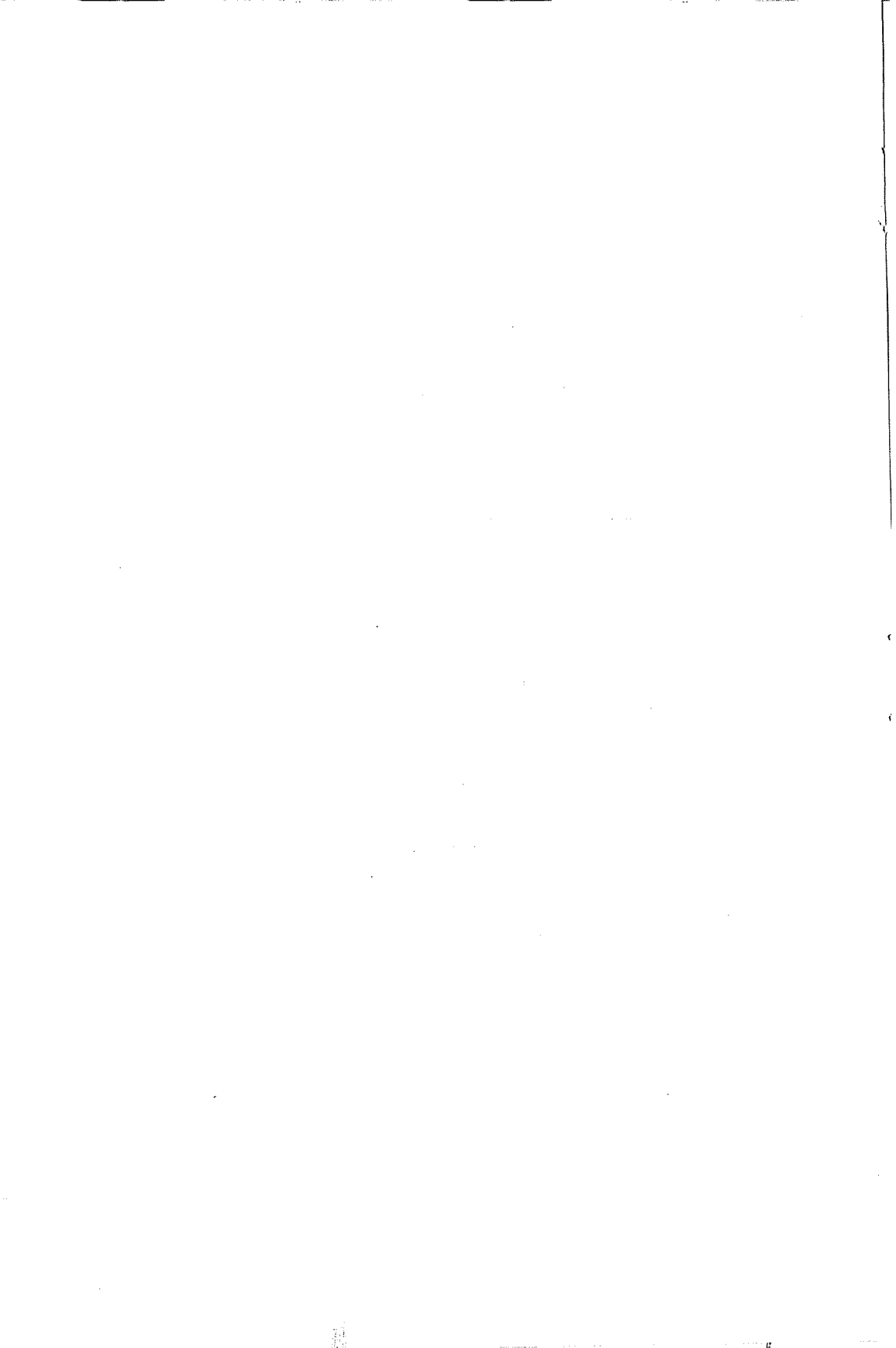
7-Parajenezde hakim mineral magnezittir. Tali olarak serpantin grubu mineralleri, silis, kalsit, kromit, manyetit te parajenez içerisinde yer alır.

Magnezitler epijenik karakterli ve belirgin bir litofasiyese bağımlı olmaksızın gelişmişlerdir. Magnezit yataklarının şekil, yan kayaç ilişkileri ve sade olan parajenezi, MgCO<sub>3</sub>'ün düşey hidrotermal aktiviteden ziyade, yüksek CO<sub>2</sub> içeren epitermal suların yanal ve düşey göçleri ile, sedimanter diyajenetik süreç içerisinde geliştiklerini göstermektedir.

Ofiyolit yerleşmesinden sonra başlayan mineralleşmenin alt yaş sınırı Burdigaliyen (Alt Miyosen) olarak kabul edilebilir. KD-GB ile KB-GD doğrultulu genel cevherleşme yönleri izlenerek bilinenlerin dışında, yeni yatakların prospeksiyonu yapılabilir.

Kaynaklar

- | 1 | Blumenthal, M., 1941; Niğde ve Adana vilayetleri dahilindeki Toros'ların jeolojisine umumi bir bakış:MTA yay.Seri B.No 6.Ankara, 95 S.
- | 2 | Ternek, Z., 1953; Mersin-Tarsus kuzey bölgesinin jeolojisi: MTA der. No. 44/45. Ankara
- | 3 | Ternek, Z., 1957; Adana Havzasının Alt Miyosen (Burdigaliyen) formasyonları, bunların diğer formasyonlarla olan münasebetleri ve petrol imkanları:
- | 4 | Schmidt, G.C., 1961; VII. Adana petrol bölgesinin stratigrafik nomenklotürü: petrol dairesi neşriyatı: No.6, 47-63 s Ankara
- | 5 | Üzer, B., Duval, B., Courrier, P., Leouzey, J., 1974; Antalya-Müt-Adana Neojen Havzaları jeolojisi: Türkiye II.Petrol Kong.Tebliğleri 57-84.
- | 6 | Bizon, G., Bizon, J.J., Feinberg, H., Öztümer, E., 1974;Antalya-Mut-Adana Havzaları Tersiyer Biyostratigrafisi ve Mikropaleontoloji Yenilikleri: Türkiye II.Petrol Kongresi Tebliğleri:217-228
- | 7 | Juteau, T., 1980; Ophiolites of Turkey: Ofioliti special issue: V 2, 199-237.
- | 8 | Yetiş, C., Demirkol. C., 1984; Adana baseni kuzey-kuzeybatı kesiminin temel stratigrafisine ilişkin bazı gözlemler: TJK-38.Bilim ve teknik kurultayı, Bildiri özetleri:59-61. Ankara.
- | 9 | Lagap, H., 1985; Kıralan-Karakılıç-Karaisalı (NW Adana) alanının litostratigrafik-kronostratigrafik incelemesi: Ç.Ü., FBE, Jeoloji Müh.Ana Bilim Dalı, Master tezi, 80 s. Adana.
- | 10 | Ünlügenc, Ü.C., 1986; Kızıldağ yayla (Adana) dolayının jeoloji incelemesi: FBE, Jeoloji Müh.Ana Bilim Dalı, Master Tezi, Adana.





GEZENDE BARAJI (GÜLNAR) REZERVUAR ALANININ  
TERSİYER STRATİGRAFISI

Ali Burak YENER  
Cengiz YETİŞ

ÖZET

Bu çalışmada Gezende Barajı rezervuar alanı ve batısının litostatigrafi-kronostatigrafi özelliklerine dayalı ayrıntılı jeolojik haritalaması yapılmıştır. İnceleme alanında otokton ve allokton birimler ayırtlanmıştır. Bölgeye tektonik olarak yerleşmiş bulunan Mesozoyik yaşlı Ermenek melanjı alloktondur. Senozoyik'te; Gezende (Lütesiyen), Yenimahalle (Oligosen), Gildirli (Oligosen-Alt Miyosen), Kaplankaya ve Karaisalı (Burdigaliyen-Langiyen) formasyonları otokton birimler olarak ayırtlanmış, kuvaterner'de ise alüvyon haritalanmıştır.

THE TERTIARY STRATIGRAPHY OF THE GEZENDE ARCH DAM  
RESERVOIR (GÜLNAR)

ABSTRACT

In this study a detailed geological map (1/25000) of the Gezende Arch Dam and its Reservoir area has been prepared according to its lithostratigraphic and chronostratigraphic properties. The autochthonous and allochthonous units are differentiated in the investigated area. The Mesozoic aged Ermenek melange is the allochthonous

---

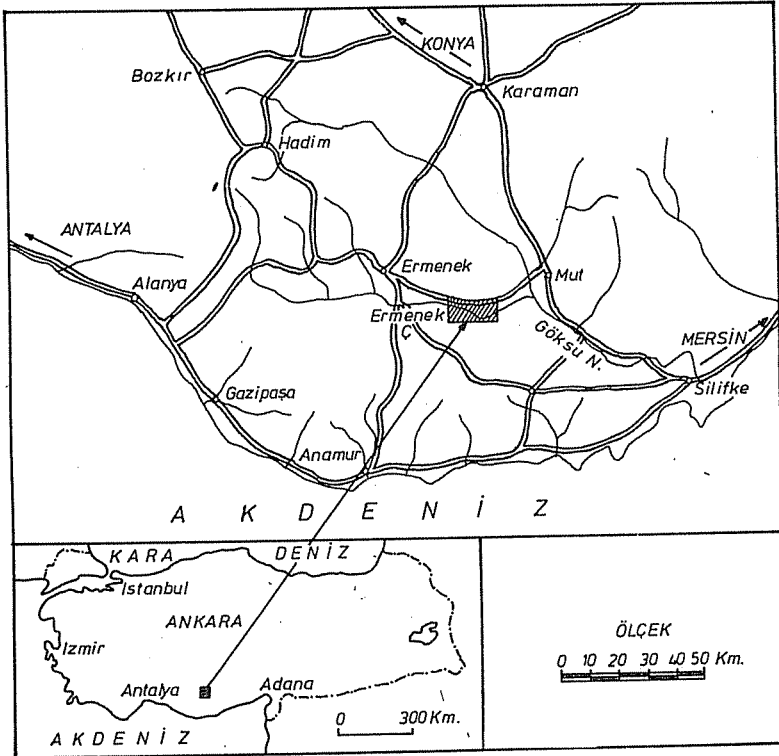
(x) D.S.I. Gezende Barajı, HES, Mut-Mersin

(xx) Ç.Ü.Müh.-Mim.Fak.Jeoloji Müh.Böl.-Balcalı-ADANA

unit which located in the area tectonically. The Cenozoic aged Gezende (Lutetian), Yenimahalle (Oligocene), Gildirli (Oligocene-Lower Mioçene), Kaplankaya and Karaisalı (Burdigalian-Langhian) formations are differentiated as autochthonous units; alluvium in the Quaternary is also mapped.

## 1. GİRİŞ

İnceleme alanını Mut-Ermenek-Gülnar ilçeleri arasında yer alan Gezende Barajı ve rezervuar alanı oluşturur (Şekil 1). Çalışma alanı 1/25000 ölçekli Silifke 030-d3-d4 ve Silifke P30-a2 paftalarının içerisinde yer almaktadır.



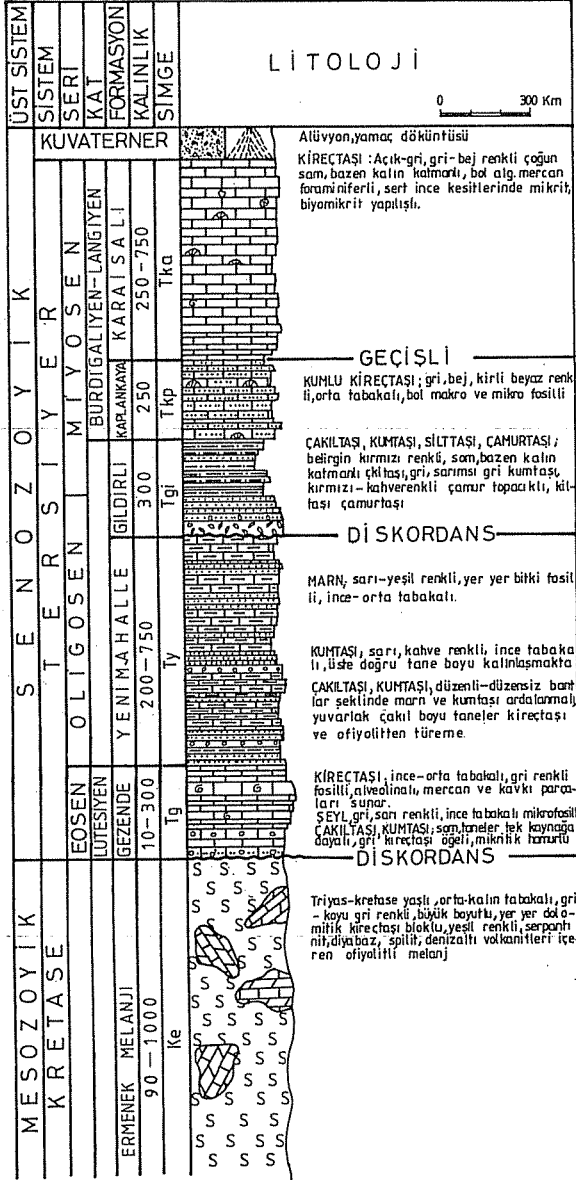
Şekil-1: İnceleme alanı yer bulduru haritası.

Bu çalışmanın amacını; yaklaşık 170 km<sup>2</sup> lik alanda yüzeyleyen Mesozoyik'e ait çökel kayalar ile Ermenek melanji ve Senozoyik yastaki kayaların incelenmesi ve bunların litostratigrafi-kronostratigrafi esaslarına göre ayırma ile 1/25000 ölçekli jeoloji haritası alımı oluşturur. Bu amaca uygun olarak Mesozoyikte yer yer dolomitik kireçtaşı blokları kapsayan Ermenek melanji, Tersiyer'de ise Gezende (Lütesiyen), Yenimahalle (Oligosen-Alt Miyosen), Gildirli (Oligosen-Alt Miyosen), Kaplankaya ve Karaisalı (Burdigaliyen-Langiyen) formasyonları ayrırtlanmıştır (Şekil 2,3).

Çalışma bölgesi ve komşu bölgelerdeki Tersiyer tortullarının jeolojik özellikleri Akarsu (1); Sezer(2); Özer ve di.(3); Özgül (4); Gedik ve di. (5), Yetiş ve Demirkol (6), Türkmen ve Demirkol (7) tarafından incelenmiştir. Öte yandan Tersiyer tortullarına ait paleontolojik incelemeler Tanar ve Gökçen (8), Tanar (11) tarafından yapılmıştır. Buna göre çalışma bölgesi ve komşu bölgelerde yapılan değişik araştırmalar sonunda, bölgenin stratigrafisine yaklaşım sağlanmış, kayaların sedimantolojik ve jeolojik özellikleri saptanarak ilgili çökeltme ortamları irdelenmiştir.

Gezende Barajı çevresini yüksek dağlar çevrelemekte olup, çalışma alanı oldukça engebeli bir topografyaya sahiptir. Kuzeybatı-Güneydoğu uzanımlı olan ve inceleme alanının her iki yanını sınırlayan dağlar yakın çevrenin en yüksek yerlerini oluşturmaktadır. Bu yükseltilerin başlıcaları; Adraslar (1828 m), Katrancık Tepe (1544 m), Erenler Durağı Tepe (1517 m) v.b. dir. Tektonizma ve kayaların litolojik özellikleri bölgenin morfolojik gelişimini denetleyen temel faktörlerdir. Ermenek çayı Miyosen yaşlı kireçtaşından itibaren yatağını derinleştirmiş, daha sonra gelişen epirojenik olaylar ile yükselen Mesozoyik temele de erişerek bugünkü derin konumunu ve akarsu ağını oluşturmuştur.

Şekil 2 :GEZENDE BARAJI REZERVUAR ALANI VE DOLAYININ GENELLEŞTİRİLMİŞ STRATİGRAFI KESİTİ.



1988-1989 yılları arasında yapılan bu çalışma; inceleme alanında ayrıntılı saha çalışmaları ve laboratuvar çalışmaları şeklinde gerçekleştirilmiştir. Mevsim koşullarının elverdiği zamanlarda, 1988 yaz aylarında gerçekleştirilen saha çalışmaları ile çalışmanın amacına uygun olarak;

- a. jeolojik harita alımı
- b. stratigrafik kesit ölçümü
- c. petrografik ve paleontolojik örnek derleme işleri yapılmıştır.

1/25000 ölçekli Silifke 030-d3-d4 ve Silifke p30-a2 topografik paftaları kullanılarak, dokanakların izlenmesi yöntemiyle çalışma alanının 1/25000 ölçekli jeoloji haritası yapılmıştır (Şekil 3). Birimlerin kalınlıklarını ve litoloji değişimlerini belirlemek amacıyla stratigrafi kesitleri ölçülmüş, çalışma alanında yüzeyleyen formasyonların petrografik sınıflaması ile paleontolojik tayinlerini ve çökeltme ortamlarının yorumunu yapabilmek amacıyla örnekler derlenmiştir.

Saha çalışmaları boyunca derlenen örneklerden ince kesitler yapılmış, mikroskobik ve katodoluminesans incelemeleri ile bir bölümü İngiltere'de olmak üzere kimyasal ve petrografik analizleri yapılmıştır.

Örneklerden karbonatlı olanları FOLK (9) ve DUNHAM (10) sınıflamalarına göre tanımlanmıştır. Yapılan petrografik tanıtlar ve kimyasal analizler ile fosil tayinleri çalışma alanı temel kayastratigrafi birimlerinin çökeltme ortamları hakkında yoruma geçilmiştir.

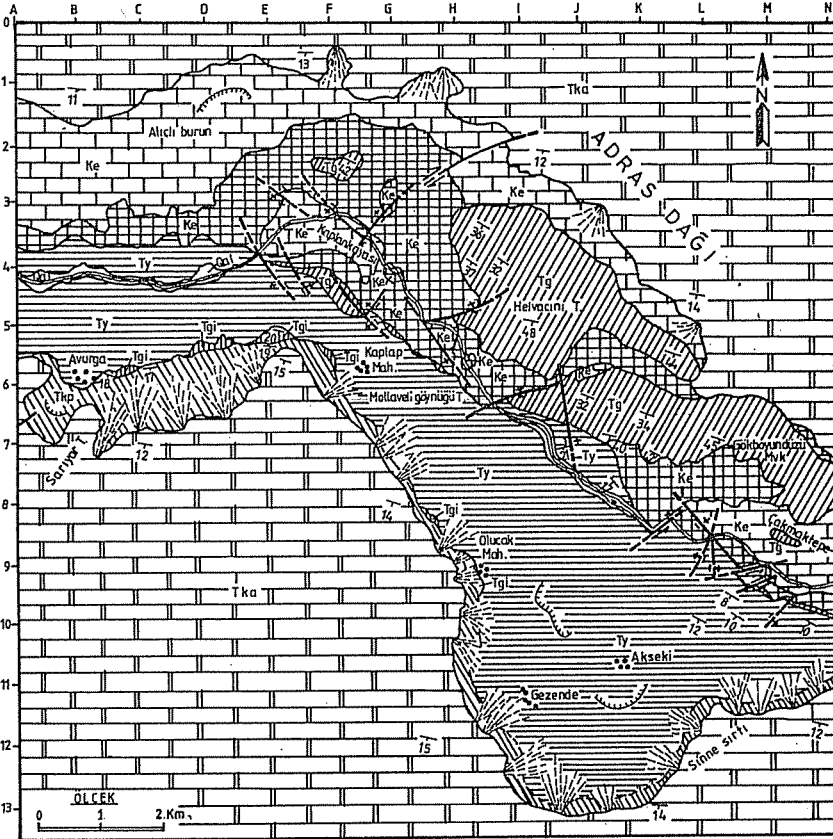
## 2. TERSİYER STRATİGRAFİSİ

### 2.1. Gezende formasyonu (Tg)

Gezende formasyonu Ermenek melanjı üzerindeki düzensiz bir topografyaya uyumsuzlukla oturmaktadır. Yenimahalle formasyonunun çökeltmediği yerlerde veya aşınıp kaybolduğu alanlarda Karaisalı formasyonu uyumsuz olarak birimin üzerine gelmektedir (Şekil 4).

Sekil 3 -

GEZENDE BARAJI BENT VE REZERUVAR ALANININ JEOLJİ HARİTASI



ACIKLAMALAR

SENOZOYİK	KUVATERNER	Qal ALÜVYON			
		TERSİYER	MİYOSEN	LANGİYEN	Tka I KARAİSALI FORMASYONU
	OLİGOSEN		EURDİGALİYEN	Kaplankaya FORMASYONU	
			EOSEN	LÜTESİYEN	GİLDİRLİ FORMASYONU
	MESOZOYİK	KRETASE	ÜST KRETASE	Jg GEZENDE FORMASYONU	
			Ke ERMENEK MELANJİ		

SİMGELER

	TABAKA DOĞRULTU VE EĞİMİ
	KESİN DOKANAK
	YAKLAŞIK DOKANAK
	KUSKULU DOKANAK
	DOĞRULTU ATILIMLI FAY
	DÜŞEY ATILIMLI FAY
	AKTİF HEYELAN

Birim genellikle kireçtaşından ibaret olup, taban kesiminde alacalı renkli çakıltası, kumtaşı daha üst kesimlerde de şeyl arakatmanları kapsamaktadır. Konglomeratik düzeyler çoğunlukla som, tabakasızdır. Çakıltasını oluşturan taneler tek bir kaynaktan türeme olup, gri-bej kireçtaşına aittir. Şeyl arakatmanları ise gri, yeşil, sarı renkli ince tabakalıdır. Çok yaygın olan kireçtaşı düzeyleri ise yer yer ince orta tabakalı olup, bazı düzeylerde yumrulu bir yapı sunar. Tabakaların eğimi genellikle Ermenek çayı vadisi güneyine doğru olup 30-45° arasındadır. İnce mikritik olan düzeyler bol fosilli olup, başlıca Alveolina sp, mercan ve kavkı parçalarından oluşmaktadır. Kumlu kireçtaşı görünümündeki düzeyler bol alglidir.

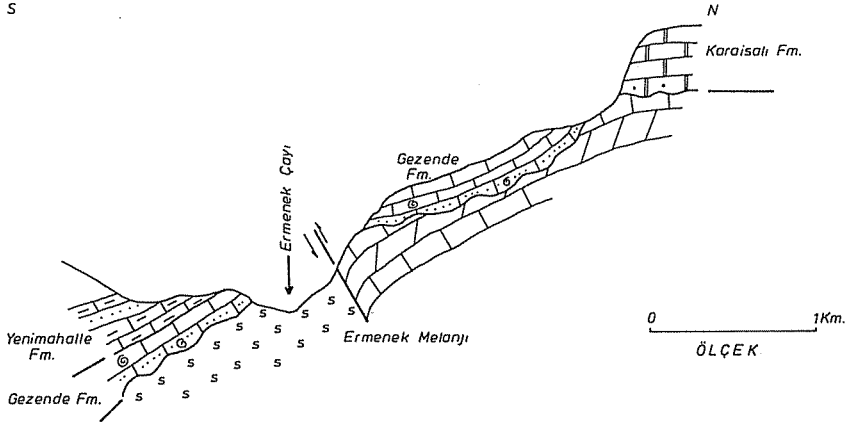
Ermenek melanjının tektonik hareketlerle havzaya yerleşmesinden sonra meydana gelen tektonik hareketler ve bunun ardından aşınma evresi ile inceleme alanında birtakım paleotopografik çukurluklar oluşmuştur. Lütési-yen denizinin bölgeye erismesi ile bu çukurluklarda ince kırıntılı malzeme ve kireçtaşı çökelmiştir. Gezende formasyonunda bol Alveolinalı ve mercanlı kireçtaşlarının varlığı sığ denizel ortamı kanıtlar.

## 2.2. Yenimahalle formasyonu (Ty)

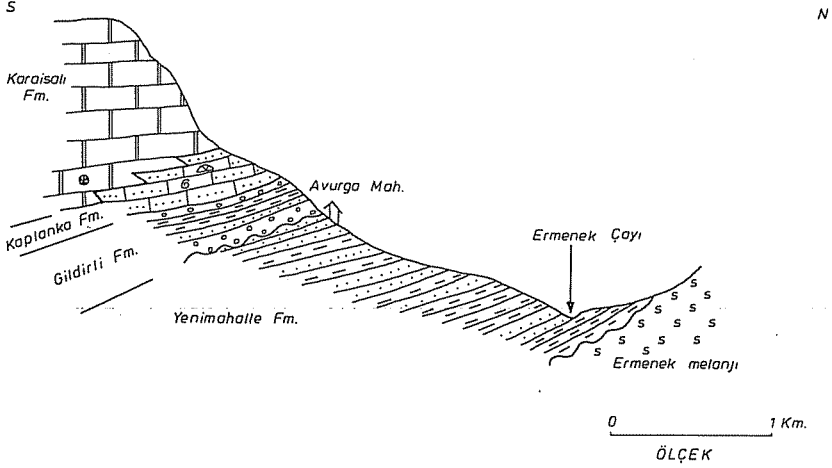
İlk kez Ermenek civarında Gedik ve di . [5] Yenimahalle formasyonu adını uygulamışlardır. İnceleme alanında Gezende baraj yeri, Gezende köyü civarı ve Kaplap mahallesinde en iyi şekilde yüzeylemektedir.

Yenimahalle formasyonu Gezende formasyonu üzerine uyumlu olarak gelip bunun asındığı yerlerde Ermenek melanjı üzerinde uyumsuz olarak bulunmaktadır. Birimin üzerinde ise Gildirli; bunun çökelmediği alanlarda da Karaisalı formasyonu düşük açılı uyumsuzlukla gelmektedir (Şekil 4-5).

Gezende Barajı Rezervuar Alanının Tersiyer Stratigrafisi



Şekil 4 - Gezende barajı rezervuar alanı Ermenek çayı kuzeyindeki istifin dokanak ilişkisini gösterir taslak enine kesit.



Şekil 5 - Gezende barajı rezervuar alanı güneybatısında, Avurga mahallesi civarındaki istifi gösterir taslak kesit.



Inceleme alanında Yenimahalle formasyonu killi kireçtaşı, kiltası, marn, kumtaşı ve çakıltaşından ibaret olup, yer yer çok ince kömür bantları kapsamaktadır. Birimin tabanında yeralan killi kireçtaşı, beyaz, gri, krem ve bej renkli olup orta tabakalıdır. Killi kireçtaşı düzeyleri ise sarı yeşil renkli, sert-kırılğan, gastropod ve yaygın şekilde bitki parçaları içermektedir. Kumtaşı düzeyleri ise sarı-kahverengi, ince tabakalıdır. Birimin alt düzeylerinde marn ve kiltası düzeyleri arasında ince bantlar şeklinde çakıltası ve kumtaşı arakatmanları mercek ve kama şeklindedir. Yer yer çok ince düzensiz kömür düzeylerine rastlanılmaktadır. Çakıltası düzeyleri merceksel orta-iyi boylanmalı, düzenli düzensiz bantlar şeklinde görülmektedir. Çakıl taneleri as yuvarlak olup, çakılların kaynağını temelde yeralan Ermenek melanji serpantinitleri ile kireçtaşı oluşturmaktadır.

Yenimahalle formasyonunda Tanar (11) tarafından ta-sınmış halde, Nummulites cf. aturicus Joly ve Leymerie, Nummulites beaumonti d'Archiac ve Haime, Sphaerogypsina globulus Reuss, Alveolina sp., Operculina sp., nin yanı-sıra marn-kumlu kireçtaşı içinde, Candona (Lineocypris) sp., Vetustocytheridea sp., Hemicyprideis montosa (Jones ve Sherborn), Pokornyella limbata (Bosquet)

fosilleri saptanmıştır. Yenimahalle formasyonunda saptan-bu fosillere dayanılarak, ayrıca birim üzerine gelen formasyonların stratigrafik konumu ve yaşları gözetilerek birime Oligosen-Alt Miyosen yaşı uygulanmıştır.

Saptanan bu fosiller ile kömür, yaprak fosilleri bitki kalıntıları, çakıltası, kumtaşı gibi litolojiler karasal ortamı karakterize eden verilerdir. Bu verilere göre Yenimahalle formasyonu geçiş veya karasal ortamda cökelmış olmalıdır.

## 2.3. Gildirli formasyonu (Tgi)

İlk olarak Schmidt (12) tarafından Adana havzasında Gildirli formasyonu olarak isimlendirilen, karasal nitelikli çökellerden oluşma, düzensiz paleotopografyaya bağlı olarak gelişmiş Oligosen-Alt Miyosen aralığında çökelmiş olan birime bu çalışmada da aynı ad uygulanmıştır. İnceleme alanında en iyi Avurga ve Olucak mahalleri civarında yüzeylemektedir (Şekil 3-5).

Gildirli formasyonu; pembemsi, kırmızımsı renkli çakıltası, çakıllı kumtaşı-kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşından oluşma dönemler halinde bulunan akarsu çökellerinden ibarettir. Çakıltası düzeyi başlıca kireçtaşı, ofiyolit ve metamorfitten, 20-30 cm boya erişen as yuvarlak-uzunca taneli, kötü boylanmalı çakıllar ile eşitli bir matriksle tutturulmuştur. Çakıltası düzeyinin kalınlığı inceleme alanında 1 m.ye erişebilmektedir. Tane boyu yukarıya doğru azalarak çakıltası düzeyleri dereceli olarak çakıllı kumtaşı ve kumtaşı düzeyine geçmektedir. Kırmızımsı renkli olan bu düzeyler başlıca; kireçtaşı, ofiyolit, çört, kuvarsit v.b. den türemeyen ve birim kötü boylanmalıdır. Üste doğru istif kırmızımsı renkli çok ince kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşı düzeylerine geçmektedir. Çamurtaşı düzeyleri gevşek tutturulmuş dağılgan ve maksimum 20-30 cm kalınlıktadır.

İnceleme alanında yeralan Gildirli formasyonu, genellikle bir taban konglomerası niteliğindedir ve düzensiz bir topografyaya bağlı olarak paleotopografik çukurluklarda oluşmuştur. Birime yaş verdirebilecek herhangi bir fosile rastlanılmamıştır. Bu nedenle çalışma alanında yeralan kaya stratigrafi birimlerinin yaşları gözetilerek birime yaş vermek mümkün olabilmektedir. Birimin altında bulunan en genç kayastratigrafi birimi Yenimahalle formasyonudur. Üzerine ise Burdigaliyen-Langiyen yaşlı Kaplankaya ve Karaisalı formasyonları gelmektedir. Lüte-

siyen sonrasında denizin bölgeden çekilmesi ile Burdigaliyen öncesine kadar aşınma sürecine girmiş, bu evrede paleotopografik çukurluklarda Gildirli formasyonu çökeliş korunabilmiştir. Böylece Miyosen denizi transgresyonu tabanında bulunan karasal kıvrıntılardan oluşma Gildirli formasyonu Oligosen-Alt Miyosen zaman aralığında çökelmiş olmalıdır (13).

#### 2.4. Kaplankaya formasyonu (Tkp)

Gildirli formasyonu eşdeğeri konglomeratik yapılaşlı Oligosen-Alt Miyosen yaşlı birimin üzerine transgresif olarak gelen Burdigaliyen'e ait kumlu kireçtaşıdan oluşmuş birime Yetiş ve Demirkol (6), Yetiş (13) tarafından Kaplankaya formasyonu adı verilmiş ve bu çalışmada da aynı adlama kullanılmıştır.

Kaplankaya formasyonu altta Gildirli formasyonu üzerine uyumlu, üstte ise Karaisalı formasyonu ile geçişli olup, paleotopografik konuma bağlı olarak kalınlık değişimleri sunmaktadır. Bununla birlikte, inceleme alanında Ermenek çayı güney yamacında yamaç döküntülerinden oluşan bir örtü altında kalmıştır (Şekil 3-5).

Çalışma alanında alacalı renkli kıvrıntılardan oluşma Gildirli formasyonu üzerine gelen kıvrıntılı-kıvrıntılı karbonatlardan oluşma denizel fosilli litolojiler Kaplankaya formasyonunun eşdeğeri olmalıdır. Üzerinde ise genellikle resifal nitelikli Karaisalı formasyonu ile geçişlidir.

Önceki çalışmalarda Yetiş ve Demirkol (6) Adana basininde birimin kumlu kireçtaşı düzeylerinde şu fosilleri saptamışlardır:

Borelis melo Fichtel ve Moll., Quinqueloculina sp.

Victorella sp., Rotalidae, Lithothamnium sp.,

Tarbellastraea sp., Amphistegina sp., Gypsina sp.

Miogypsinoides sp., Elphidium cf. crispum Linne,

Heterostegina sp., Globorotalia sp., Globigerina sp.,  
Acervulina sp., Lepidocyclina sp., Lutraria oblonga  
Chemnitz, Pitadia (Callista) cf. erycynoides Lamarck,  
Pitadia (Callista) cf. erycynoides Lamarck, Anadara  
(Anadara) cf. diluvii Lamarck.

Bulunan bu fosillere göre Yetiş ve Demirkol (6) birimin Alt- Orta Miyosen yaşını karakterize ettiğini bildirmişlerdir. Birimin üzerine Burdigaliyen-Langiyen yaşlı Karaisalı formasyonu geçişli olarak bulunduğu kaplankaya formasyonu da Burdigaliyen-Langiyen evresinde çökelmiş olmalıdır.

Kaplankaya formasyonu, Gildirli formasyonu üzerine ekinid, denizel lamellibrans ve gastropod fosilleri ile tabandan yukarı doğru karbonat oranının arttığı bir istif şeklinde gelişmiştir. Birim aynı zamanda inceleme alanındaki Miyosen denizi transgresyonunun tabanındaki sığ denizel nitelikli çökelleri karakterize etmektedir. Böylece birim, belirtilen litolojik özellikleri, fosil kapsamı ve kendisine özgü geometrisi ile sığ deniz ve plaj ortamında durulmuş olmalıdır.

## 2.5. Karaisalı formasyonu (Tka)

İnceleme alanı ve çevresinde, paleotopografik yüksekliklerde çok yaygın bir şekilde yüzeyleyen resifal nitelikli kireçtaşı oluşma birimin Adana havzasındaki eşdeğeri Schmidt (12), Yetiş ve Demirkol (6) tarafından Karaisalı formasyonu olarak adlandırılmış ve bu çalışmada da aynı adlama kullanılmıştır.

Karaisalı formasyonu, çalışma alanında resifal özellikte kireçtaşı ile temsil edilmiş olmakla birlikte seyrek killi kireçtaşı ve marn bantları içermektedir. Birimi oluşturan kireçtaşı beyaz-krem renkli, sert, bol miktarda alg, foraminifer, ekinid, lamellibrans, gastropod,

mercan v.b. içermekte olup. biyomikritik vaketaşı, biyoklastik tanetaşı, biyomikrosporit, pelloidal istiftaşı, biyopelsparit gibi değişik görünümlerdedir. Gedik ve di. (5) bu formasyon için resif karmaşığı terimini kullanmanın doğru olacağını belirtmişlerdir. Genellikle yatay konumda bulunan kireçtaşları resif ilerisinde 10-15 derecelik eğim sunarken resif çekirdeğinde ise belirgin olmayan yatay tabakalı olarak görülür.

Formasyonun alt sınırı değişik dokanak ilişkileri sunmaktadır. Ermenek çayının kuzeyinde, Gezende formasyonu ve Ermenek melanjı ile açısal uyumsuz olduğu yerler bulunmaktadır. Ermenek çayının güneyinde ise Kaplankaya formasyonu ile geçişlidir (Sekil 4-5). Gedik ve di. (5) ise Ermenek yöresinde birimin Eosen yaşlı Yenimahalle formasyonu ile olan taban dokanağında düşük açılı uyumsuzluk bulunduğunu bildirmişlerdir. Paleotopografik düzensizlikler nedeni ile birim büyük kalınlık değişimleri sunmaktadır.

İnceleme alanında geniş alanlarda yüzeyleyen birim, Mut yöresinde çalışan Sezer (2) 'in Mut kireçtaşı: Adana yöresinde çalışan Schmidt (12) 'in Karaisalı kireçtaşı: Ermenek-Karaman yöresinde çalışan Kocyiğit (14) 'in Gök-tepe resif kireçtaşı üyesi: Ermenek civarında çalışan Gedik ve di. (5) 'nin Mut formasyonu ve Adana baseninde çalışan Yetiş ve Demirkol (6) 'un Karaisalı formasyonu ile denestirilebilir.

Önceki çalışmalarda Gedik ve di. (5) şu fosilleri belirlemişlerdir:

Globigerinoides trilobus Reuss, Globigerinoides,  
sacculiferus Brady , Globigerina praebulloides Blow  
Borelis melo curdica (Reichel), Borelis melo fichtel  
Moll, Favites sp., Hydrophora sp., Lithothamnium sp.,  
Lithophyllum sp. Clypeaster altus Klein, Clypeaster

latirostris Agassiz, Flabellipecten, Solarium Lamarca,

Penopea faujasi Menard.

Bulunan bu fosillere göre birimin yaşı Orta Miyosen olarak bildirilmiştir.

Miyosen başında (Burdigaliyen) bölgeye erişen deniz transgresyonu ile karadan beslenimin etkin olduğu kesimlerde plaj-sığ denizel nitelikli çökeller durularak Kaplankaya formasyonunu oluşturmuş, bunun dışında kalan topografik yüksekliklerde ise resifal karbonat nitelikli Karaisalı formasyonu çökelmiştir.

### 3. TARTISMA ve SONUÇLAR

Gezende Barajı (Gülнар) rezervuar alanının stratisigrafisini kapsayan bu çalışma ile Mut-Ermenek-Gülнар ilçeleri arasında yer alan Gezende Barajı rezervuar alanının 1/25000 ölçekli ayrıntılı jeoloji haritası yapılarak altı litostratigrafi birimi (Ermenek melanjı, Gezende, Yenimahalle, Gildirli, Kaplankaya ve Karaisalı formasyonları) ayırtlanmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur:

1. Senozoyik'te Gildirli ve Kaplankaya formasyonları bölgede ilk kez ayırtlanmıştır.
2. Senozoyik'e ait tüm birimlerin otokton konumlu oldukları saptanmıştır.
3. İnceleme alanında yüzeyleyen birimlerden derlenen örneklerin ince kesitleri hazırlanarak, bunların petrografik tanımları, ve fosil tanımları ile çalışma alanında yer alan birimlerin çökelleme ortamına ilişkin yorumlar yapılmıştır. Yapılan saha gözlemleri ve laboratuvar çalışmaları sonunda Lütesiyen yaşlı Gezende formasyonunun sığ denizel, Oligosen-Alt Miyosen yaşlı Yenimahalle formasyonunun karasal veya geçiş, yine Oligosen-Alt Miyosen yaşlı Gildirli formasyonunun karasal, Alt Miyosen yaşlı Kaplankaya formasyonunun sığ deniz-plaj ve

bununla geçişli olan Alt-Orta Miyosen yaşlı Karaisalı formasyonunun ise resifal ortamlarda cökemiş oldukları saptanmıştır.

#### KAYNAKLAR

1. Akarsu, I., 1960. Mut Bölgesinin Jeolojisi. MTA Enstitüsü Dergisi. No: 54, 36-45.
2. Sezer, S., 1970. The miocene stratigraphy of Mut region. Southern Turkey. Doktora tezi, Bircbeck College, London Univ. London.
3. Özer, B., Duval, B., Courrier, F., Letouzey, J., 1974. Antalya-Mut-Adana Neojen Havzaları Jeolojisi. Türkiye 2. Petrol Kongresi Teb., 277-288.
4. Özgül, N., 1976. Torosların Bazı Temel Özellikleri. Türkiye Jeol. Kur. Bült., 19/1, 82-100.
5. Gedik, A., Birgili, S., Yılmaz, H., Yoldaş, R., 1979. Mut-Ermenek-Silifke Yöresinin Jeolojisi ve Petrol Olanakları. Türkiye Jeol. Kur. Bült. 22/1, 7-27.
6. Yetiş, C., ve Demirkol, C., 1986. Adana Baseni Batı Kesiminin Detay Jeoloji Etüdü. MTA Enstitüsü, Derleme No: 8037, 187 s.
7. Türkmen, S., Demirkol, C., 1989. Gezende Barajı dolayının (Mut) Jeoloji incelemesi. Ç.U. Müh.- Mim. Fak. Derg., 4-1, 17-37.
8. Tanar, Ü., Gökçen, N., 1987. Mut Havzası Tersiyerinde Mikro Paleontolojik Yenilikler. Türkiye Jeol. Kurultayı Bildiri Özetleri, s.66
9. Folk, R.L., 1959. Practical Petrographic Classification of Limestones. Bull. Am. Petrol. Geol. 43, 1-38.
10. Dunham, R.J., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. (in Ham. W.E. ed. classification of carbonate rocks). Am. Assoc. Petroleum Geologists, Mem. 1. 108-121.

11. Tanar,Ü., 1989. Mut Havzası Tersiyer İstifinin Stratigrafik ve Mikropaleontolojik (Ostrakod ve Foraminifer) İncelemesi. Ç.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 200 s.
12. Schmidt,G.C., 1961, Adana Petrol Bölgesinin Stratigrafik nomenklatürü. Petrol Dairesi Nesriyatı, No.6, 47-63.
13. Yetiş,C., 1988. Reorganization of the Tertiary Stratigraphy in the Adana Basin, Southern Turkey. Newsl. Stratigr. 20 (1), 43-58.
14. Kocayığit,A., 1976. Karaman-Ermenek (Konya) Bölgesinde Ofiyolitli Melanj ve Diğer Oluşuklar. Türkiye Jeol.Kur.Bült. 19/2. 103-116.



ORTAM ŞARTLARININ VE YAPI MALZEMELERİNİN  
FİZİKSEL ÖZELİKLERİNİN ISI KAZANÇLARINA ETKİSİ

Tuncay YILMAZ (\*)

R. Tuğrul OĞULATA (\*)

ÖZET

Yapıların opak elemanlarından oluşan ısı kazançları, yapıldığı malzemenin fiziksel özelliklerine, kalınlığına, dış yüzey rengine ve daha bir çok faktöre bağlı olarak değiştiğinden kompleks bir durum arz etmektedir.

Bu nedenle Türkiye'nin en sıcak yerlerinden biri olması sebebiyle Adana'da, klima hesaplarında ele alınan en olumsuz günde (23 Temmuz) opak elemanlar üzerinde incelemeler yapılmıştır. Hesaplarda 28 °C sabit iç ortam sıcaklığında, dolu tuğla duvarda ( $\lambda = 0,81$ ,  $\rho = 1800$ ,  $c = 880$ ) çeşitli durumlar ele alınmıştır.

THE EFFECT OF ATMOSPHERIC CONDITION AND  
PHYSICAL PROPERTIES OF MATERIALS ON HEAT GAINS

ABSTRACT

The heat gains which occur from the non-transparent building materials depend on the physical characteristics, thickness, outdoor surface color and some other factors of the walls. These effects of factors result in a complex heat gain phenomena.

For this reason, one of the hottest provinces of Turkey which is Adana was undertaken for investigation. The worst date (23 July) for the climatic calculation, non-transparent building materials were selected. For this calculation 28 °C indoor room temperature and the various conditions of brick wall ( $\lambda = 0,81$ ,  $\rho = 1800$ ,  $c = 880$ ) was taken.

---

(\*) Ç.Ü. Müh.- Mim. Fak., Makina Müh. Böl., Adana

## 1. GİRİŞ

Yapıların, insanlar tarafından arzu edilen iç ortam şartlarını sağlayabilmesi gerekir. Yapılar barınmanın yanında, iklimin olumsuz etkilerini de asgari düzeyde ortadan kaldıracabilmelidir. Bu nedenle iç mekan iklimine tesir eden parametrelerin çok iyi incelenmesi şarttır.

Dış iklimsel etkilerden ötürü meydana gelen ısı akımı, yapı elemanının yönü, eğimi, rengi, ortamın sıcaklığı ve rüzgar hızı gibi pek çok parametreye bağlıdır. Bu yüzden iç ortam sıcaklığı, dış hava sıcaklığı ve güneş ışınımının değişimine bağlı olarak gün boyunca sürekli değişmektedir. Bu nedenle, ısı akımının belirlenmesine esas alınacak duvar iç yüzey sıcaklığının bu değerlere bağlı olarak hesaplanması gerekmektedir. Opak elemanların iç yüzey sıcaklıklarının anlık değerleri, düzlemsel levha şeklinde olan yapı elemanından zamana bağlı ısı geçişini tanımlayan genel enerji denkleminin, başlangıç ve sınır şartları dikkate alınarak çözülmesiyle elde edilir. Bu durum [1,2] de detaylı olarak açıklanmıştır.

## 2. RÜZGAR HIZININ, ANLIK ISI KAZANCINA ETKİSİ

Herhangi bir yapının düzlem dış duvarında, iç ve dış ortama transfer edilen ısılar şekil 1 de gösterilmiştir. Şekilde  $\dot{q}_a$  güneş ışınımı suretiyle duvarın aldığı ısı,  $\dot{q}_i$ ,  $\dot{q}_d$  ise sırasıyla iç ve dış ortama konveksiyonla transfer edilen ısıları göstermektedir. Duvarın güneş ışınımından aldığı ısı, duvar yüzeyine gelen toplam ışınım  $\dot{q}_t$  ve duvarın yutma katsayısı  $\epsilon$  ile

$$\dot{q}_a = \epsilon \cdot \dot{q}_t \quad (1)$$

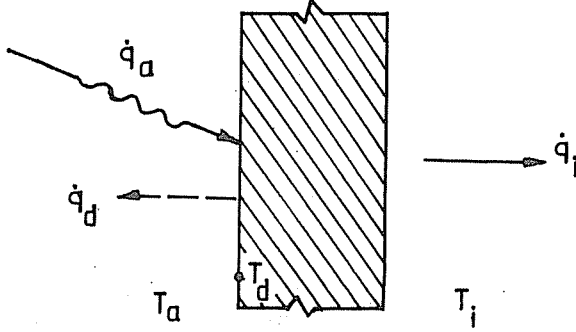
şeklinde hesaplanmaktadır. Dış ortama konveksiyonla transfer edilen ısı miktarı

$$\dot{q}_d = \alpha_d (T_{dd} - T_a) \quad (2)$$

iç ortama konveksiyonla transfer edilen ısı miktarı ise

$$\dot{q}_i = k_d (T_{dd} - T_i) \quad (3)$$

şeklindedir. Burada  $T_{dd}$  duvar dış yüzey,  $T_a$  dış ortam [3],  $T_i$  ise sabit iç ortam sıcaklıklarını göstermektedir.



Şekil 1. Yapı duvarına gelen giden ısılar ve sıcaklıklar

Şekil 1 de gösterilen duvar için, duvara gelen ve giden ısılarla ısı dengesi, duvarda depo edilen ısının ihmal edilmesiyle

$$\dot{q}_a = \dot{q}_d + \dot{q}_i \quad (4)$$

$$\dot{q}_a = \alpha_d (T_{dd} - T_a) + k_d (T_{dd} - T_i) \quad (5)$$

şeklinde olacaktır. Eşit.(5) den duvar dış yüzey sıcaklığı,

$$T_{dd} = \frac{\dot{q}_a + \alpha_d T_a + k_d T_i}{\alpha_d + k_d} \quad (6)$$

olarak bulunur. Eşit.(6) nin eşit.(3) de kullanılmasıyla iç ortama transfer edilen ısı

$$\dot{q}_i = \frac{k_d}{\alpha_d + \alpha_i} [ \dot{q}_a + \alpha_d (T_a - T_i) ] \quad (7)$$

ve eşitliğin daha da basitleştirilmesiyle

$$\dot{q}_i = \frac{\alpha_d}{1 + \alpha_d/k_d} [ \dot{q}_a/\alpha_d + \alpha_d (T_a - T_i) ] \quad (8)$$

haline getirilmiştir. Burada, duvar başlangıcından iç ortama ısı transferindeki ısı transfer katsayısı olan  $k_d$ , duvar iç taraf ısı transfer katsayısı  $\alpha_i$ , duvar kalınlığı  $s$  ve duvarın ısı iletim katsayısı  $\lambda_d$  ile

$$\frac{1}{k_d} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{s}{\lambda_d} \quad (9)$$

şeklindedir. Dış ortama bakan duvar yüzeyi ile bu ortam arasındaki zorlanmış konveksiyonla ısı transferi ise, etkili olan rüzgar hızına bağlı olarak [4],

$$\alpha_{zk} = 3.U \quad (10)$$

şeklinde hesaplanabilmektedir. Eşitlikte  $U$  [m/s] ortalama rüzgar hızını göstermektedir. Duvar dış yüzeyindeki toplam

ısı transfer katsayısı  $\alpha_d$  ise, dış ortam şartlarındaki zorlanmış ve serbest konveksiyonlarla radyasyonla ısı transfer katsayılarının değerleriyle yaklaşık olarak

$$\alpha_d = \alpha_{zk} + \alpha_{sk} + \alpha_r \quad (11)$$

biçimindedir. Duvar iç taraf ısı transfer katsayısı  $\alpha_i$  ise iç ortam şartlarındaki serbest konveksiyon ve radyasyonla ısı transfer katsayısı değerleriyle yaklaşık olarak

$$\alpha_i = \alpha_{sk} + \alpha_r \quad (12)$$

şeklindedir. Eş.(10) da verilen zorlanmış konveksiyonla ısı transferi rüzgar hızıyla doğrudan değişmektedir. Her ne kadar diğer ısı transfer katsayıları, rüzgar hızıyla birlikte değişen yüzey sıcaklıklarında değişim gösterecekse de eş.(11) de en büyük etkiyi rüzgar hızı yapacaktır. Eş.(8) de denklemin sağ kısmında bulunan  $(T_a - T_i)$  sıcaklık farkı, maksimum dış ortam sıcaklığı anında dikkate alınacak olursa 7-10 °C lik bir değere sahip olacaktır. Bu nedenle opak elemandan ısı kazancı, duvar yüzeyinin aldığı ışınımın paydasında bulunan  $\alpha_d$  değeri ile (rüzgar hızıyla değişen zorlanmış konveksiyondan ötürü) doğrudan etkilenecektir.

Şekil 2 de, opak elemanların birim yüzey alanındaki anlık maksimum ısı kazancının, yönlere göre rüzgar hızı ile değişimi verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi, rüzgar hızı arttıkça zorlanmış konveksiyon, dolayısıyla dış yüzey toplam ısı transfer katsayısı arttığından maksimum ısı kazancı değerinde düşüş olmaktadır. Bu durum eş.(8) den görülmektedir.

Şekil 3 te duvar dış yüzey yutma katsayısı ( $\epsilon$ ) 0,5 , şekil 4 te ise  $\epsilon=0,9$  iken, birim yüzey alandaki anlık ısı kazancının rüzgar hızına bağlı olarak, günün saatlerine göre değişimleri verilmiştir. Yine şekilden görüldüğü gibi, rüzgar hızı azaldıkça ısı kazancının arttığı tesbit

edilebilmektedir. Ayrıca açık renk duvarlarda maksimum ısı kazancının daha az ve gecikme zamanının (maksimum dış etkilerin iç ortama transferi) daha fazla olduğu görülmektedir.

### 3. DUVAR DIŞ YÜZEY YUTMA KATSAYISININ, ANLIK ISI KAZANCINA ETKİSİ

Opak elemanların güneş ışınımını yutma katsayısı, bu elemanların dış yüzey rengiyle belirlenmektedir. Koyu renk duvarlarda yüksek olmak üzere renk açıldıkça değeri azalmaktadır. Eş.t.(1) de görüldüğü gibi, duvar dış yüzey yutma katsayısı büyüdükçe opak elemanın (duvarın) güneşten aldığı ısı da artmaktadır.

Şekil 5 te 19 cm kalınlığındaki opak elemanın birim yüzey alanındaki anlık maksimum ısı kazancının yönlerle bağlı olarak duvar yutma katsayısı ile değişimleri gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi bütün yönlerde, yutma katsayısı arttıkça anlık maksimum ısı kazancı da artmaktadır.

Şekil 6 da 19 cm, şekil 7 de ise 29 cm kalınlığındaki Güney yönündeki duvarda birim yüzey alandaki anlık ısı kazancının, duvar dış yüzey yutma katsayısına bağlı olarak günün saatleri boyunca değişimleri verilmiştir. Şekillerden anlaşıldığı gibi, bu değişimlerde de yutma katsayısı arttıkça ısı kazancı artmaktadır. Yine şekillerden kalın duvardaki ısı kazançlarının daha az, gecikme fazının ise çok olduğu görülmektedir.

### 4. DUVAR KALINLIĞININ ANLIK ISI KAZANCINA ETKİSİ

Herhangi bir yapı elemanı üzerinden ısı bir ortamdan diğerine geçerken; ısıya karşı her iki ortamla eleman arasında ve elemanın bünyesinde bir direnç oluşmaktadır. Bu dirençler ısı transfer katsayıları ile elemanın özelliklerine bağlıdır [5]. Bu değer tersi olan toplam

ısı transfer katsayısı bilindiğı gibi, duvar kalınlığı arttıkça azalmaktadır. Bu durum da eşit.(3) ile verilen ısı kazancını, toplam ısı transfer katsayısını içermesinden ötürü doğrudan etkilemektedir.

Duvar kalınlığının ısı kazancına etkisini incelemek için, şekil 8 de  $\epsilon=0,5$  olan duvarda, birim yüzey alandaki maksimum anlık ısı kazancının yönlerine bağılı olarak duvar kalınlığıyla değişimleri verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi duvar kalınlığı arttıkça, maksimum ısı kazancı da azalmaktadır.

Şekil 9 da  $\epsilon=0,5$  ve şekil 10 da  $\epsilon=0,9$  için Güney yönde, birim yüzey alandaki ısı kazancının, duvar kalınlığına bağılı olarak günün saatleri boyunca değişimleri verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi duvar kalınlığı azaldıkça ısı kazancı değeri artmakta, günlük değişimler çok fazla olmaktadır. Bu da opak elemanların ısı kazancı açısından, kalınlığının oldukça önemli bir durum arz ettiğini göstermektedir. Ayrıca açık renk duvarların ısı kazancı açısından daha iyi bir durumda oldukları da görülmektedir.

##### 5. DUVAR ISIL YAYINIM KATSAYISININ, ISI KAZANCI ÜZERİNE ETKİSİ

Bu kısımda opak elemanların fiziksel özelliklerinin ısı kazancı üzerine etkisi incelenmiştir. Bilindiğı gibi yapı elemanı çevresindeki dış etkiler zamana bağılı olarak sürekli değişmektedir. ısı kazancına, ısı iletim katsayısının etkisi yanında, bilhassa geçici rejimde ısı yayılım katsayısının etkisini incelemek uygun bulunmuştur.

Opak elemanın ısı yayılım katsayısı,

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \quad (13)$$

şeklindedir. Burada  $\lambda$  elemanın ısı iletim katsayısı,

$\rho$  yoğunluğu ve  $c$  özgül ısıdır. Isıl yayınım katsayısı malzemenin fiziksel bir özeliği olup, malzemenin ısı ataletinin bir ölçüsüdür.  $a$ 'nın yüksek değerlerinde ısı yayınımları artar. Bir boyutlu genel enerji denkleminde görüldüğü gibi, herhangi bir noktadaki sıcaklığın zamana göre değişimi ( $\delta T/\delta t$ ),  $a$  ile orantılıdır. Dolayısıyla herhangi bir noktadaki  $a$  değeri büyüksse, sıcaklığın zamana göre değişimi artar [6]. Bu nedenle eleman üzerinden meydana gelecek ısı kazancı da  $a$  katsayısı ile artar.

Şekil 11 de  $\epsilon=0,5$  olan 20 cm kalınlığındaki çeşitli yapı malzemelerinden oluşan opak elemanların, birim yüzey alanındaki anlık maksimum ısı kazancının yönlerine bağlı olarak ısı yayınım katsayısı ile değişimleri gösterilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi, ısı yayınım katsayısının en küçük değerinde maksimum ısı kazancı da en küçük olmaktadır. Isıl yayınım katsayısı ayrıca, eşt.(13) den görüldüğü gibi  $\lambda$  ile doğru orantılı değişmektedir. Genelde  $\rho$  nun da  $\lambda$  ile doğru orantılı değiştiği söylenebilir. Bu durumda  $a$  katsayısının küçük olması  $\lambda$  katsayısının da küçük olmasını gerektirmektedir.  $\lambda$  nın küçülmesi ise sabit kalınlıkta, malzemenin ısıl direncini artıracak, doğal olarak ısı kazancını azaltacaktır.

Şekil 12 de  $\epsilon=0,5$ , Şekil 13 te ise  $\epsilon=0,9$  olan Güney yöndeki duvarda, birim yüzey alandaki anlık ısı kazancının  $a$  katsayısına bağlı olarak, gün boyunca değişimleri verilmiştir. Yine şekillerden görüldüğü üzere,  $a$  katsayısı büyüdükçe anlık ısı kazancı arttığı gibi, anlık ısı kazancındaki günlük değişim de artmaktadır. Buna ilave olarak açık renk duvarların maksimum ısı kazançlarının daha az ve gecikme fazlarının daha fazla oldukları da görülmektedir.

## 6. SONUÇ

Açık renk duvar yüzeylerinin, güneşten gelen etkiyi azalttığı için ısı kazancını minimize ettiği, duvar



kalınlığının da bunda büyük bir etken olduğu görülmüştür. Ayrıca bina cephelerinde rüzgar hızının az olması, ısı direnci arttırdığından ve konveksiyonla dış ortama olan kayıpları azalttığından ısı kazancını artırmaktadır. Bu nedenle bina mimarisinde rüzgar hızını azaltıcı etkilerin göz önüne alınması gerekmektedir. Yapı malzemelerinin ısı yayılım katsayılarının da ısı kazancı açısından önemli olduğu ve değeri küçüldükçe ısı kazancını azaltıcı etki yaptığı görülmektedir. Isı kazancını azaltıcı bu etkenlerin konfor açısından önemli olan gecikme fazını da artırdığı tesbit edilmiştir. Böylece dış etkilerin daha az olduğu saatlerde, maksimum ısı kazancı gerçekleşmekteki bu da istenen bir durumdur.

#### KAYNAKLAR

[1] T., YILMAZ, R.T., OGULATA, Yaz Klimasında Isı Kazancının Teorik-Nümerik Hesaplanması, Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt 3, Sayı 1, (27-40), 1988.

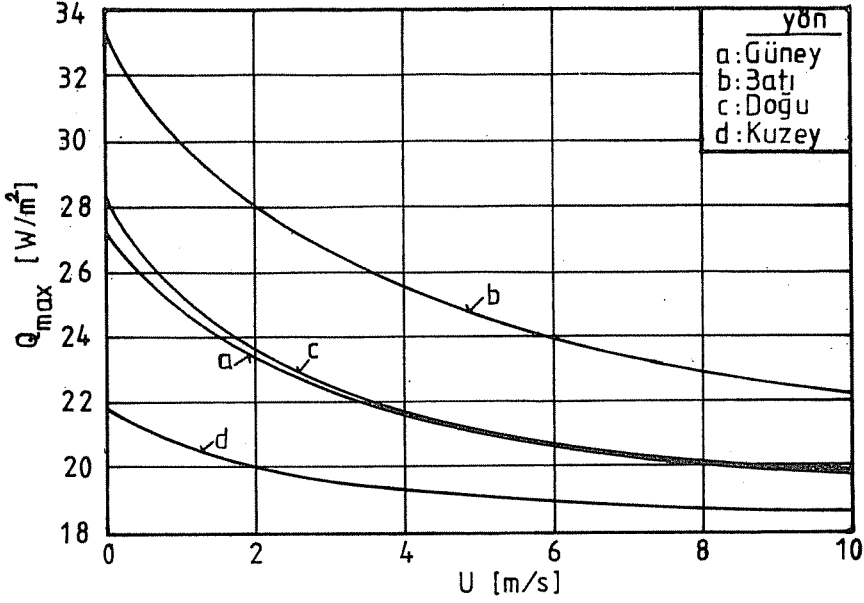
[2] T., YILMAZ, R.T., OGULATA, Binaların Isı Kazancı İçin Uygun Duvar Malzemesinin Teorik Araştırılması, Doğa Türk Mühendislik ve Çevre Bilimleri Dergisi, Cilt 14, Sayı 1, (133-145), 1990.

[3] R.T., OGULATA, T., YILMAZ, Çevre Sıcaklığının Zamansal Değişiminin Eşitliklerle Hesaplanması, Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt 4, Sayı 1, (85-95), 1989.

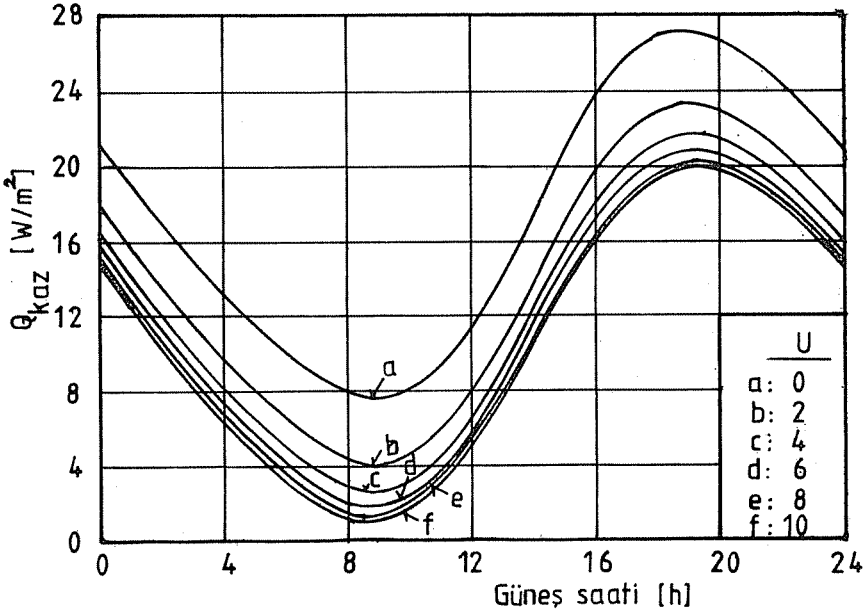
[4] J.A., DUFFIE, W.A., BECKMAN, Solar Engineering of Thermal Processes. John Wiley and Sons, New York, 1980.

[5] T., YILMAZ, Isı Transferi Teori ve Uygulama, Bizim Büro., (221 s.), 1985.

[6] S., KAKAÇ, Isı Transferine Giriş I: Isı İletimi, O.D.T.Ü., Ankara, 1987.

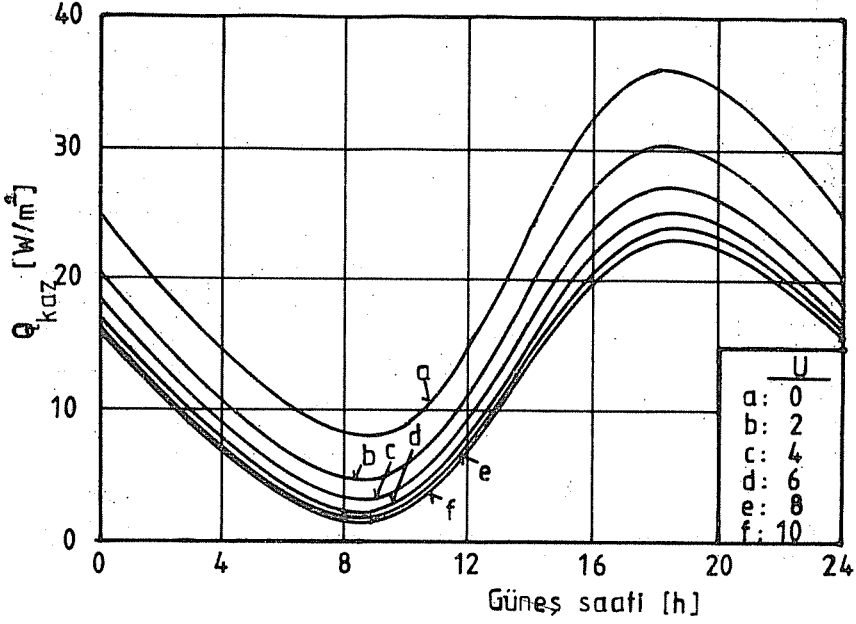


Sekil 2. Anlık maksimum ısı kazancının duvar yönlerine göre rüzgar hızı ile değişimi,  $\epsilon=0,5$

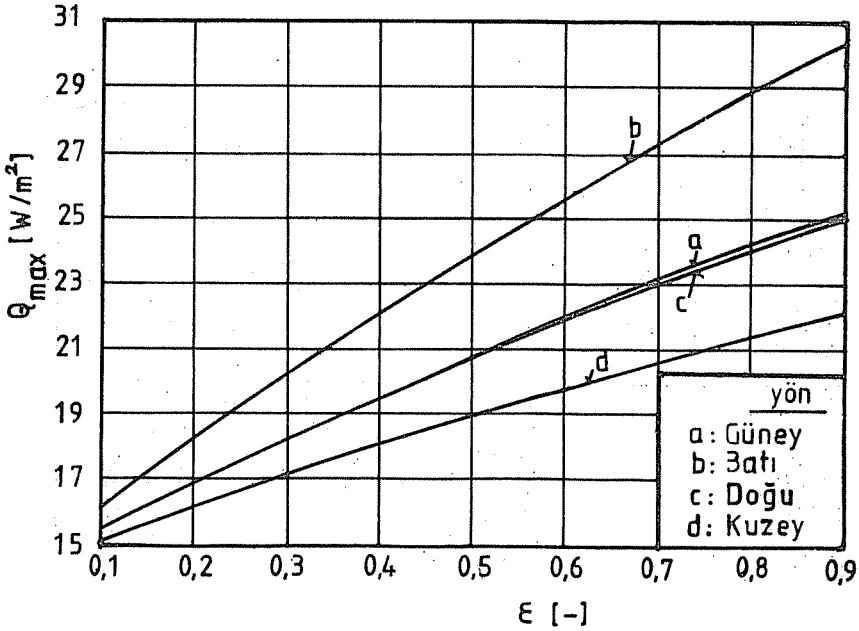


Sekil 3. Güney duvarında anlık ısı kazancının, rüzgar hızına bağlı olarak güneş saati ile değişimi,  $\epsilon=0,5$

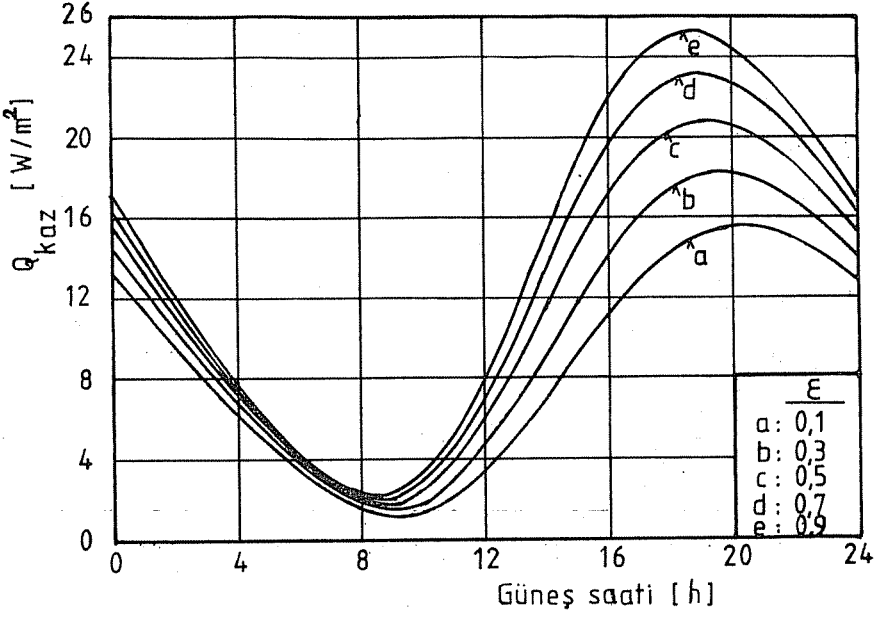
Ortam Şartlarının Isı Kazançlarına Etkisi



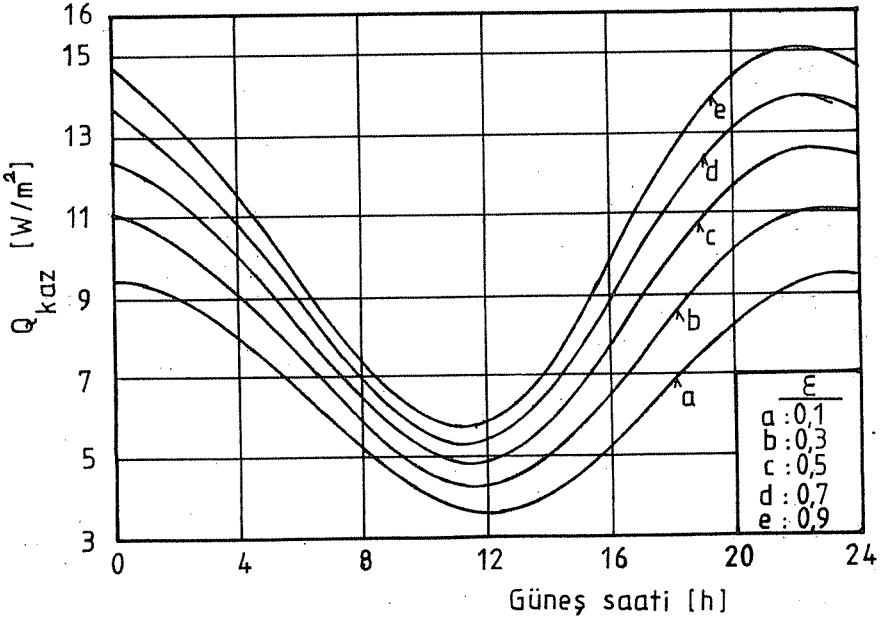
Şekil 4. Güney duvarında anlık ısı kazancının, rüzgar hızına bağlı olarak güneş saati ile değişimi,  $\epsilon=0,9$



Şekil 5. Anlık maksimum ısı kazancının duvar yönüne göre, duvar dış yüzey yutma katsayısı ile değişimi,  $s=19$  cm

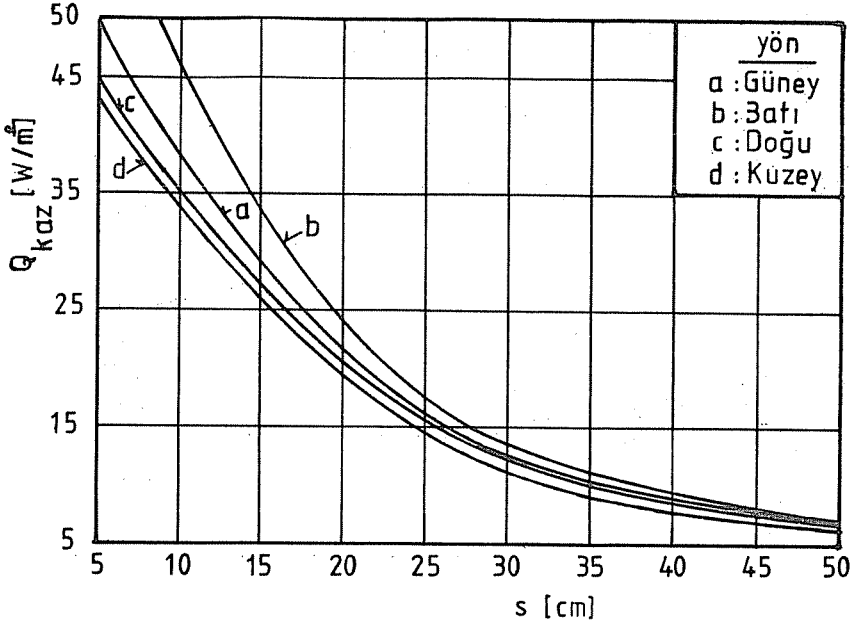


Şekil 6. Güney duvarında anlık ısı kazancının duvar dış yüzey yutma katsayısına bağlı olarak güneş saati ile değişimi,  $s=19$  cm

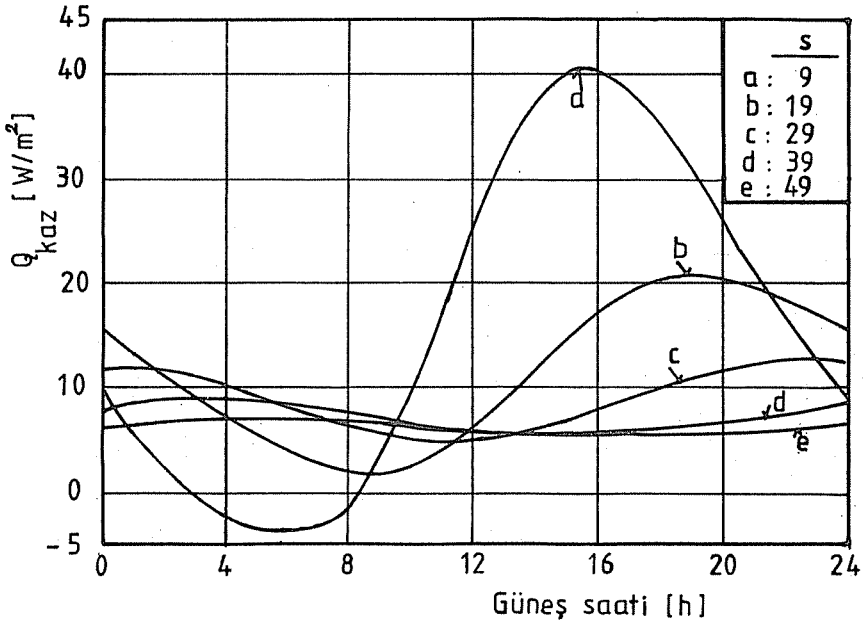


Şekil 7. Güney duvarında anlık ısı kazancının duvar dış yüzey yutma katsayısına bağlı olarak güneş saati ile değişimi,  $s=29$  cm

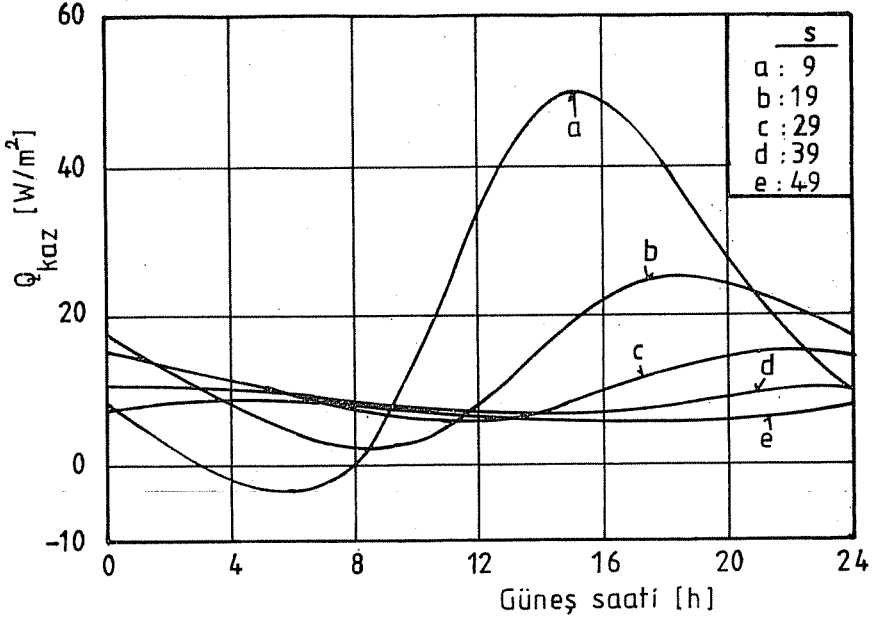
Ortam Şartlarının Isı Kazançlarına Etkisi



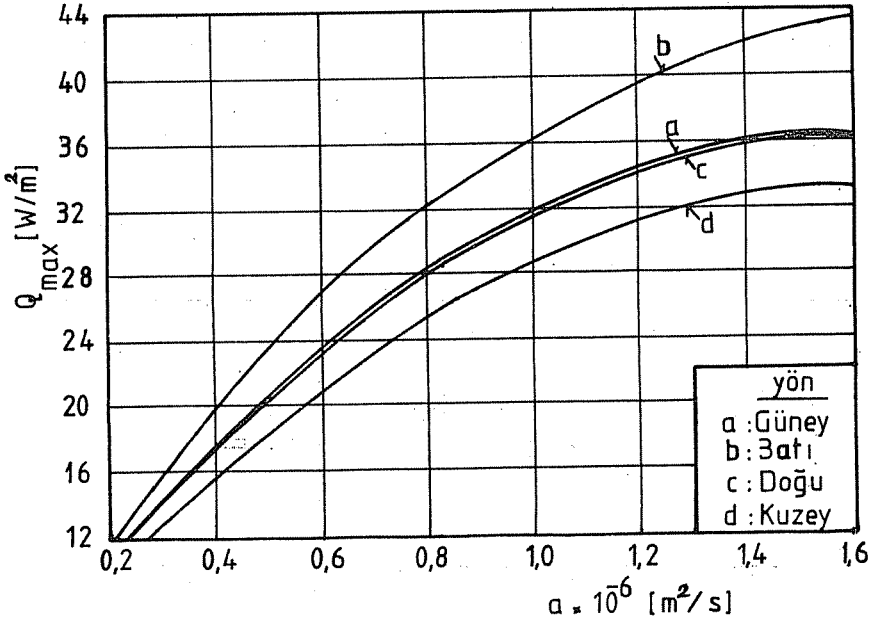
Şekil 8. Anlık maksimum ısı kazancının duvar yönlerine göre, duvar kalınlığı ile değişimi,  $\epsilon=0,5$



Şekil 9. Güney duvarında anlık ısı kazancının duvar kalınlığına bağlı olarak güneş saati ile değişimi,  $\epsilon=0,5$

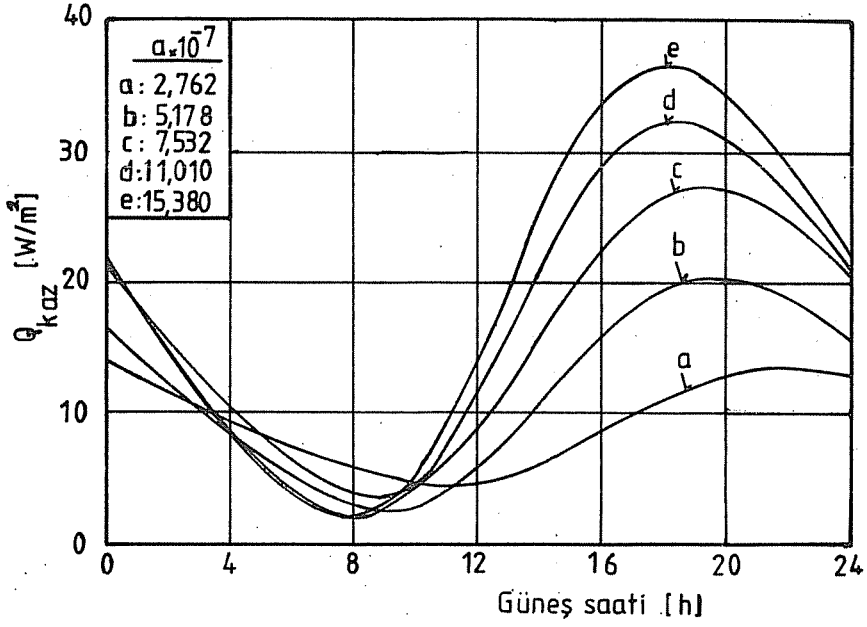


Şekil 10. Güney duvarında anlık ısı kazancının duvar kalınlığına bağlı olarak güneş saati ile değişimi,  $\epsilon=0,9$

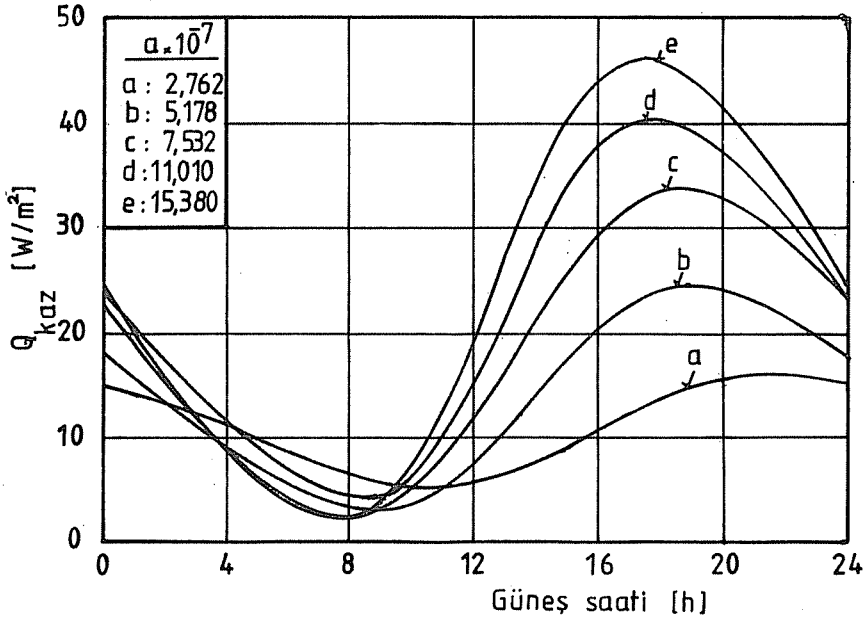


Şekil 11. Anlık maksimum ısı kazancının duvar yönlerine göre, duvar ısı yalıtım katsayısı ile değişimi,  $\epsilon=0,5$

Ortam Şartlarının Isı Kazançlarına Etkisi



Şekil 12. Güney duvarında anlık ısı kazancının, duvar ısıl yayılım katsayısına bağlı olarak güneş saati ile değişimi,  $\epsilon=0,5$



Şekil 13. Güney duvarında anlık ısı kazancının, duvar ısıl yayılım katsayısına bağlı olarak güneş saati ile değişimi,  $\epsilon=0,9$





## GERGİ KONTROLU İÇİN İKİ MEKANİK SİSTEM

I. Deniz AKÇALI (\*)  
Mutlu SENYURT (\*)

### ÖZET

Rulo olarak sarılmış şerit halindeki malzemelerin kullanımında karşılaşılan önemli sorunlardan birisi şeritteki gergi kuvvetinin kontrolüdür. Bu çalışmada anılan sorunu çözecek iki geri beslemeli oransal kontrol sistemi önerilmekte ve bunların açık bir sistemle analitik karşılaştırılması yapılmaktadır.

## TWO MECHANICAL SYSTEMS FOR TENSION CONTROL

### ABSTRACT

One important problem faced during the processing of web materials wound around rolls is the control of the tension in the web. Here in this work proportional two feedback control systems are proposed to solve this problem and a comparison of these with an open system is made analytically.

---

(\*) Ç.Ü Müh-Mim. Fak. Makina Mühendisliği Bölümü ADANA

## 1. GİRİŞ

Kağıt, plastik, kumaş, sac gibi şerit halindeki malzemelerin rulo olarak endüstriyel süreçlere girdiği gözlenir. Kağıt üretim tesisleri, kumaş ve iplik tesisleri, tel ve sac üretim tesislerinde söz konusu malzemelere sıkça rastlamak olasıdır. Söz konusu şerit malzemelerin kurutma kesme, delik açma, spray boyama, kaplama gibi çeşitli endüstriyel işlemlere girmeden önce ruloların uygun açılıp sarılmaları gerekmektedir. Rulo eksenine etrafında moment uygulayarak açılıp sarılmasını sağlayacak temel öge şeritteki gergi kuvvetidir. Bu gergi kuvveti belli değerler arasında tutulmadığı takdirde başlıca iki sorunla karşılaşılacaktır. Üretimi kesecek olan kopma, şeritteki gerilme kuvvetinin şeritin kopma mukavemetini aşması halinde ortaya çıkacaktır. Üte yandan şeritteki gergi kuvvetinin çok düşük değerlerde olması şeritte gevşemelere dolayısıyla da üretim hattında önemli aksamalara sebep olacaktır.

Ruloların açılıp sarılmasında eylemsizliklerindeki değişimler, kuru ve yağ sürtünme dirençleri, malzemedeki esneme gibi faktörler şeritteki gergi kuvvetinin zamanla değişmesine neden olacaktır. Bu da gergi kuvvetinin belli bir bant içinde tutulması problemini gündeme getirir. Bu problem gergi kontrol problemi olarak anılır.

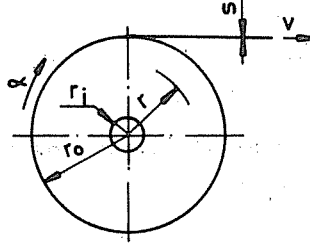
Söz konusu probleme çeşitli sistemlerle çözümler aranmıştır. Raven[1] ve Kuo[2] rulo sarılması durumunda şeritteki gergi kontrolünü yapan iki kontrol sistemi önermişlerdir. Söz konusu kontrol sistemleri rulo tahrik milinin hareketini elektriksel yollarla, örneğin armatür gerilim farkı ya da akım şiddetini, ayarlayan donanımlar içerir.

Bu çalışmada rulo halindeki kağıdın açılması sırasında gergi kontrol problemini çözecek iki mekanik kontrol sistemi önerilmekte ve bunların açık sistemle karşılaştırılması yapılmaktadır.

## 2. KURAM

### 2.1. Kinematik inceleme

Şekil 1 de merkezden desteklenmiş rulo, şeritin T kuvveti altında sabit V hızı ile çekilmesiyle çözülmektedir.



Şekil 1. Rulo

Rulonun bir tur dönmesinde rulo yarıçapı şerit kalınlığı kadar azalacağından

$$r = r_o - \frac{s}{2\pi} \theta \quad (1)$$

yazılır. Burada, şerit kalınlığı  $s$ , rulo dış yarıçapı  $r_o$ , rulonun dönme açısı ise  $\theta$  dir.

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{v}{r} \quad (2)$$

(1) nolu eşitlikteki  $r$  (2) nolu eşitlikte yazılır ve  $\theta$  için için integrali alınır

$$\theta = \frac{r_o - \sqrt{r_o^2 - \frac{s}{2\pi} vt}}{\frac{s}{2\pi}} \quad (3)$$

olur. Burada  $t$  zamanı göstermektedir.  $\theta$  nin zamana göre ikinci türevinde rulonun açısal ivmesi  $\alpha$  elde edilir.

$$\alpha = \frac{v^2 s}{2 \pi \left( r_0^2 - \frac{s}{\pi} vt \right)^{3/2}} \quad (4)$$

Ayrıca, (3) nolu eşitlikteki  $\theta$  nın (1) nolu eşitlikte yazılmasıyla rulo yarıçapının ( $r$ ) zamana göre değişimi bulunur.

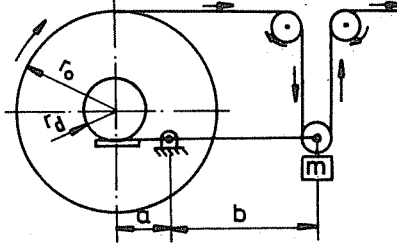
$$r = \sqrt{r_0^2 - \frac{s}{\pi} vt} \quad (5)$$

Rulo dönme eksenini etrafındaki kütle eylemsizlik momentinin zamanla değişimi ise şöyledir.

$$I = \frac{1}{2} \rho L \pi (r^4 - r_0^4) \quad (6)$$

Burada, rulo genişliği  $L$ , rulo iç yarıçapı  $r_0$ , rulo yoğunluğu  $\rho$ , rulo kütle eylemsizlik momenti ise  $I$  dir.

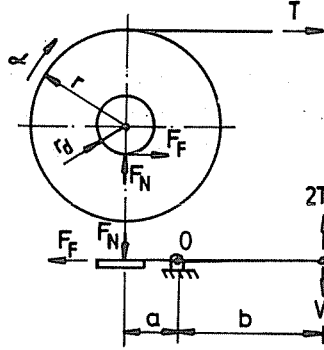
## 2.2. Önerilen birinci sistem



Şekil 2 Gergi kontrol sistemi

Şekil 2 de önerilen sistemde rulo dönme ekseninden geçen bir mil üzerine  $r_d$  yarıçapında bir disk bağlanmıştır. Bu diske mafsallı noktasından 'a' mesafesindeki bir pabuç sürtünmektedir. Yine mafsallı noktasından 'b' kadar uzaklıktaki 'm' kütlelerinin büyüklüğüne göre pabuç tarafından diske uygulanan kuvvet değişmektedir. Şerit ise Şekil 2 de görülen merdaneler arasından geçirilerek sabit bir hızla çekilmektedir.

Gergi Kontrolu İçin İki Mekanik Sistem



Şekil 3 Serbest cisim diyagramı

Şekil 3 teki serbest cisim diyagramlarından statik denge ve Euler hareket denklemleri yazılırsa

$$M_o = F_N a + 2Tb - Wb = 0 \quad (7)$$

$$Tr - r_d F_F = I\alpha \quad (8)$$

elde edilir. Burada, 'O'etrafındaki moment  $M_o$ ,  $m$  kütlesinin ağırlığı  $W=mg$ , normal kuvvet  $F_N$ , sürtünme kuvveti  $F_F$  dir. Ayrıca, normal ve sürtünme kuvvetleri arasında şu ilişki varsayılmaktadır.

$$F_F = \mu F_N \quad (9)$$

Burada,  $\mu$  disk ile pabuç arasındaki sürtünme katsayısıdır. (7),(8),(9) nolu eşitlikler gerilme kuvveti  $T$  için çözülürse şu elde edilir.

$$T = \frac{\frac{I\alpha}{2\mu r_d (b/a)} + \frac{W}{2}}{\frac{r}{2\mu r_d (b/a)} + 1} \quad (10)$$

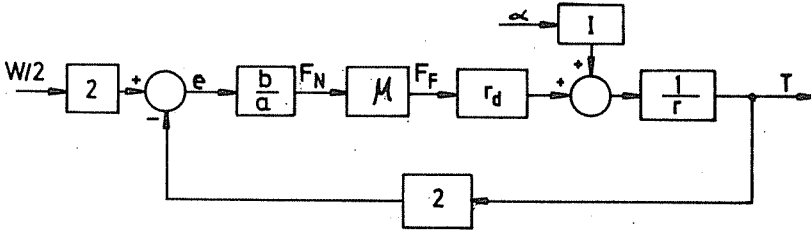
Bu gergi kontrol sisteminin amacı (11) nolu eşitlik şeklinde ifade edilebilecek olan hataın, mümkün olduğunca, zaman içinde düşük tutulmasıdır.

$$e = W - 2T \quad (11)$$

'e' hata sinyalinin anlamı '0' mafsallı fren koluna, ucunda aşağıya doğru, uygulanan net kuvvettir. Amaçlanan kontrol büyüklüğü T, hata sinyali(e) bakımından yeniden yazılırsa şu elde edilir.

$$T = \frac{I\alpha + \mu r_d (b/a)e}{r} \quad (12)$$

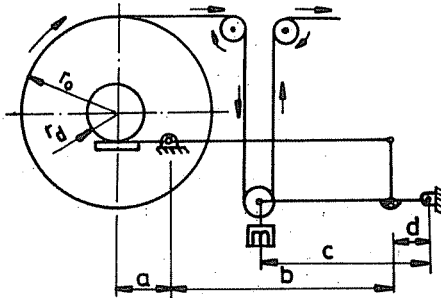
Açıktır ki ideal olarak  $e=0$  halinde,  $T=I\alpha/r=W/2$  olacaktır. Söz konusu kontrol sisteminin blok şeması şekil 4 te görülmektedir.



Şekil 4 Blok şeması

Burada,  $b/a, \mu, r_d$  kontrol elemanlarını,  $1/r$  kontrol edilen sistemi (rulo), '2' katsayısını içeren blok geri besleme ve giriş elemanı olarak makarayı temsil etmektedir. Rulodaki açısal ivme ( $\alpha$ ) değişimi ise bozucu sinyal olarak sistemi etkilemektedir.

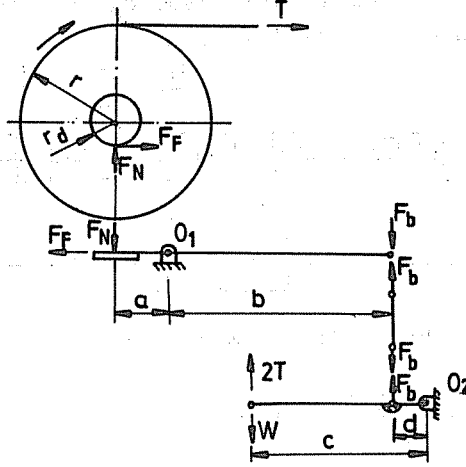
### 2.3. Önerilen ikinci sistem



Şekil 5 Gergi kontrol sistemi

## Gergi Kontrolü İçin İki Mekanik Sistem

Önerilen ikinci sistem şekil 5 te gösterilmiştir. Burada birinci sistemden farklı olarak 4-çubuk mekanizması yardımıyla aynı gergi kuvvetinde pabucun diske uyguladığı kuvvet artırılmıştır.



Şekil 6 Serbest cisim diyagramı

Şekil 6 daki serbest cisim diyagramlarından, biyel kolunun konumundaki değişme ihmal edilerek, statik denge denklemleri yazılırsa

$$M_{O_2} = (W - 2T)c - F_b d = 0 \quad (13)$$

$$M_{O_3} = F_N a - F_b b = 0 \quad (14)$$

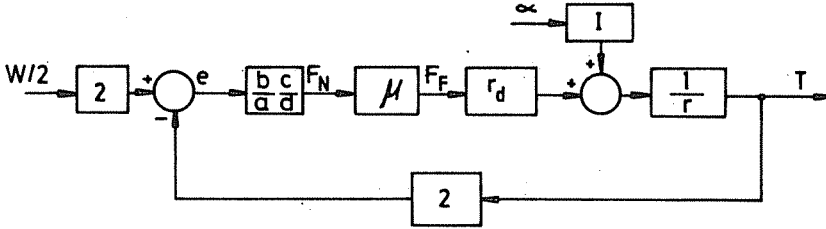
elde edilir. Rulo için (8) ve (9) nolu eşitlikler burada da geçerlidir. (8), (9), (13) ve (14) nolu eşitlikler T için çözümlürse

$$T = \frac{\frac{1\alpha}{2\mu r_d (b/a)(c/d)} + \frac{W}{2}}{\frac{r}{2\mu r_d (b/a)(c/d)} + 1} \quad (15)$$

olur. Gergi büyüklüğü T, tanımı (11) nolu eşitlikle verilen hata sinyali bakımından ifade edilirse şu sonuç bulunur.

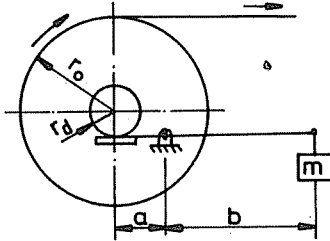
$$T = \frac{I\alpha + \mu r_d (b/a)(c/d)e}{r} \quad (16)$$

$e=0$  olması halinde halinde  $T=I\alpha/r=W/2$  elde edilecektir. Şekil 7 de 'e' yi mümkün mertebede düşük tutacak kontrol sisteminin blok şeması verilmiştir.



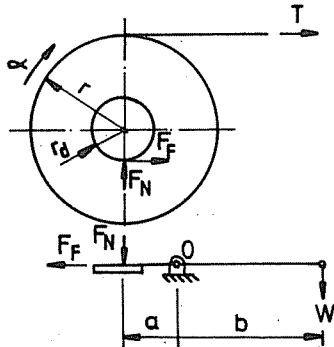
Şekil 7 Blok şeması

#### 2.4. Açık sistemin incelenmesi



Şekil 8 Açık sistem.

Şekil 8 de görüldüğü gibi şeritteki gergiden ruloya geri besleme yapılmamaktadır.



Şekil 9 Serbest cisim diyagramı



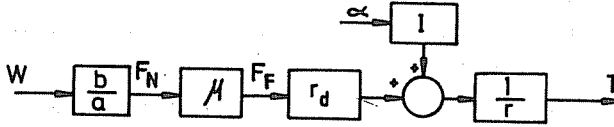
Buna göre burada da denge denklemleri şekil 9 dan yazılırsa, şu bulunur:

$$M_0 = F_N a - Wb = 0 \quad (17)$$

Rulo için burada da yine (8) ve (9) nolu eşitlikler geçerlidir. (8), (9) ve (17) nolu denklemler T için çözümlürse

$$T = \frac{\frac{I \alpha}{\mu r_d (b/a)} + W}{r} \quad (18)$$

elde edilir. Söz konusu sistemin blok şeması şekil 10 da verilmiştir.



Şekil 10 Blok şeması

### 3. TASARIM İÇİN SAYISAL İNCELEME

Buradaki temel amaç, gergi kuvvetini istenen bir değere mümkün olduğu kadar dar bir bant içerisinde yaklaştıran sistemin sayısal büyüklüklerinin bulunmasıdır.

Önerilen birinci ve ikinci sistemin kuramsal olarak incelenmesinden gergi kuvvetinin  $I, \alpha, r, \mu, r_d, b/a, c/d$  ve  $W$  parametrelerine bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Burada,  $I, \alpha$  ve  $r$  ruloya ait kontrol edilen sistem parametreleridir ve kontrol büyüklüğüne ( $T$ ) bozucu faktör[1] olarak etki ederler.  $\mu, r_d, b/a, c/d$  parametreleri blok şemalarından da görüleceği gibi kazanç faktörleridir[3] ve pratik olarak gergi kuvvetinin kontrol edilmesinde olumlu rol oynarlar.  $W/2$  ise referans değeridir, Şekil(4,7).

Burada izlenen metod, analiz yoluyla tasarımıdır[4]. Başka bir ifadeyle yukarıda sözü edilen parametrelerin sistematik değiştirilmesiyle, rulonun tamamının çözülme süresi içinde, gergi kuvveti zamana bağlı olarak incelenecektir.

Bu incelemede,  $r_0=0.4$  m,  $r_1=0.0375$  m,  $l=0.5$  m,  $s=0.0001$  m,  $q=700$  kg/m<sup>2</sup> özelliklerine sahip bir kağıt rulo dikkate alınmıştır. Şeritte istenen hız ise 0.9 m/s dir.

Kontrol edici öğeler olan  $\mu, r_d, b/a, c/d$  belli pratik değerler arasında değiştirilmiştir. Disk ve pabuç malzemeleri olarak çelik-çelik ve çelik-prinç, kolayca sağlanabilmeleri bakımından tercih edilmişlerdir ve bunlara karşı gelen sırasıyla  $\mu=0.4$  ve  $\mu=0.2$  sürtünme katsayıları hesaba katılmıştır. Disk yarıçapı için ise, rulonun dış yarıçapı ve rulo göbeğine takılacak olan milin yarıçapı gözönüne alınarak,  $r_d=0.05$  m ve  $r_d=0.1$  m seçilmiştir. Gergi kontrol sistemlerinin, Şekil(2,5), fazla yer kaplamamaları istendiğinden, incelemede  $b/a=4, b/a=7$  ve  $c/d=8, c/d=10$  değerleri kullanılmıştır. Referans değeri(W/2) ise, kağıtın mukavemeti dikkate alınarak, 20 N. olarak belirlenmiştir.

Birinci sistemde, II ve IV egrilerinden, sürtünme katsayısının artmasıyla; I ve III egrilerinden disk yarıçapının büyütülmesiyle; I ve II egrilerinden de  $b/a$  nin yükseltilmesiyle gergi kuvveti değişim bandının daraldığı ve referans değerine yaklaşıldığı görülmektedir, Şekil 11 Tablo 1. IV egrisinden VI egrisine doğru gidildikçe gergi kuvveti değişim bandının daraldığı, Tablo 1, buna karşılık referans değerinden uzaklaşıldığı gözlenmektedir, Şekil 11. Bu durumda % 30.14' lük gergi bandı değişimini veren  $\mu=0.4, r_d=0.1$  m,  $b/a=7$  değerleri en iyi çözüm olarak ortaya çıkmaktadır.

İkinci sistemde, II ve III egrilerinden, sürtünme katsayısının büyütülmesiyle; I ve II egrilerinden disk yarıçapının artırılmasıyla; III ve IV egrilerinden  $b/a$  ayrıca V ve VI egrilerinden de  $c/d$  nin yükseltilmesiyle gergi kuvveti değişim bandının daraldığı ve referans değerine yaklaşıldığı görülmektedir, Şekil 13, Tablo 1.

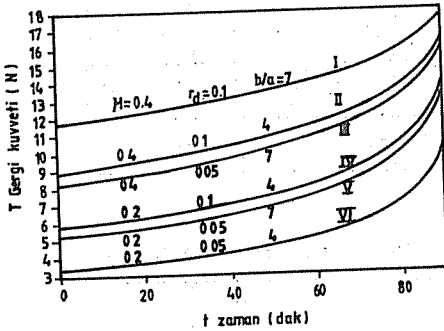
(\*) % Olarak gergi bandı değişimi, gergi kuvvetindeki en büyük değişim miktarının referans değerine bölünüp yüz ile çarpılması ile bulunmuştur.

## Gergi Kontrolü İçin İki Mekanik Sistem

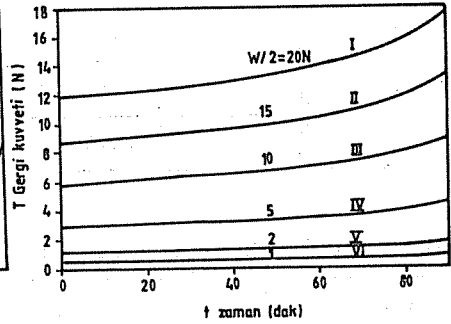
Burada, % 5.38 lik gergi bandı değişimine yol açan  $\mu=0.4, r_d=0.1$  m  $b/a=7, c/d=10$  değerlerinin iyi bir çözüm olacağı anlaşılmaktadır.

Açık sistemde ise sürtünme katsayısının, disk yarıçapının ve  $b/a$  oranının yükseltilmesiyle gergi bandı genişlemektedir, Şekil 15.

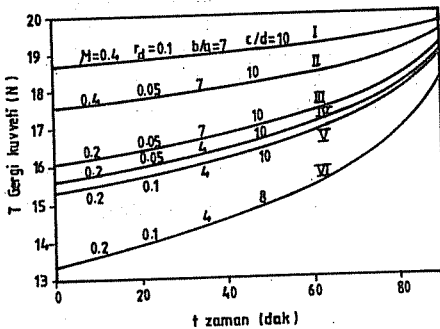
Bu niceliklerle, birinci, ikinci ve açık sistemlere farklı referans girişlerinin uygulanması halinde gergi kuvveti değişim miktarının referans değerine oranında çok fazla bir değişme olmadığı saptanmaktadır, Tablo 2, Şekil 12, 14.



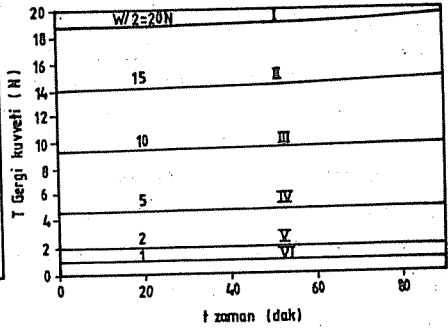
Şekil 11 Gergi-Zaman



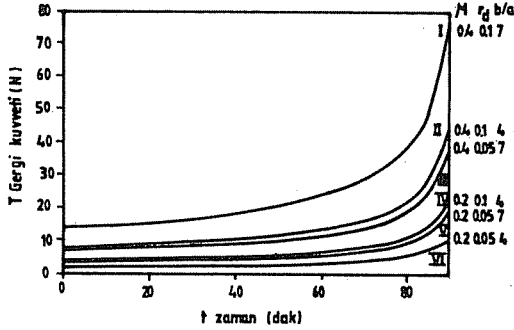
Şekil 12 Gergi-Zaman



Şekil 13 Gergi-Zaman



Şekil 14 Gergi-Zaman



Sekil 15 Gergi-Zaman

Tablo 1 Gergi Kuvveti Değişim Bandı

Egriler		I	II	III	IV	V	VI
Gergi bandı değişimi %	1. Sistem	30.149	37.006	38.172	40.138	39.845	35.671
	2. Sistem	5.381	9.961	15.641	17.272	18.420	24.982
	Açık Sistem	314.55	179.74	157.27	89.07	78.63	44.93

Tablo 2 Farklı Referans Değerlerinde Gergi Bandı Değişimi

Egriler		I	II	III	IV	V	VI
Ref.değ. (N.)		20	15	10	5	2	1
Gergi bandı değişimi %	1. Sistem	29.941	30.072	30.116	30.138	30.146	30.149
	2. Sistem	5.344	5.367	5.375	5.379	5.380	5.381
	Açık Sistem	314.55	314.55	314.55	314.54	314.53	314.50

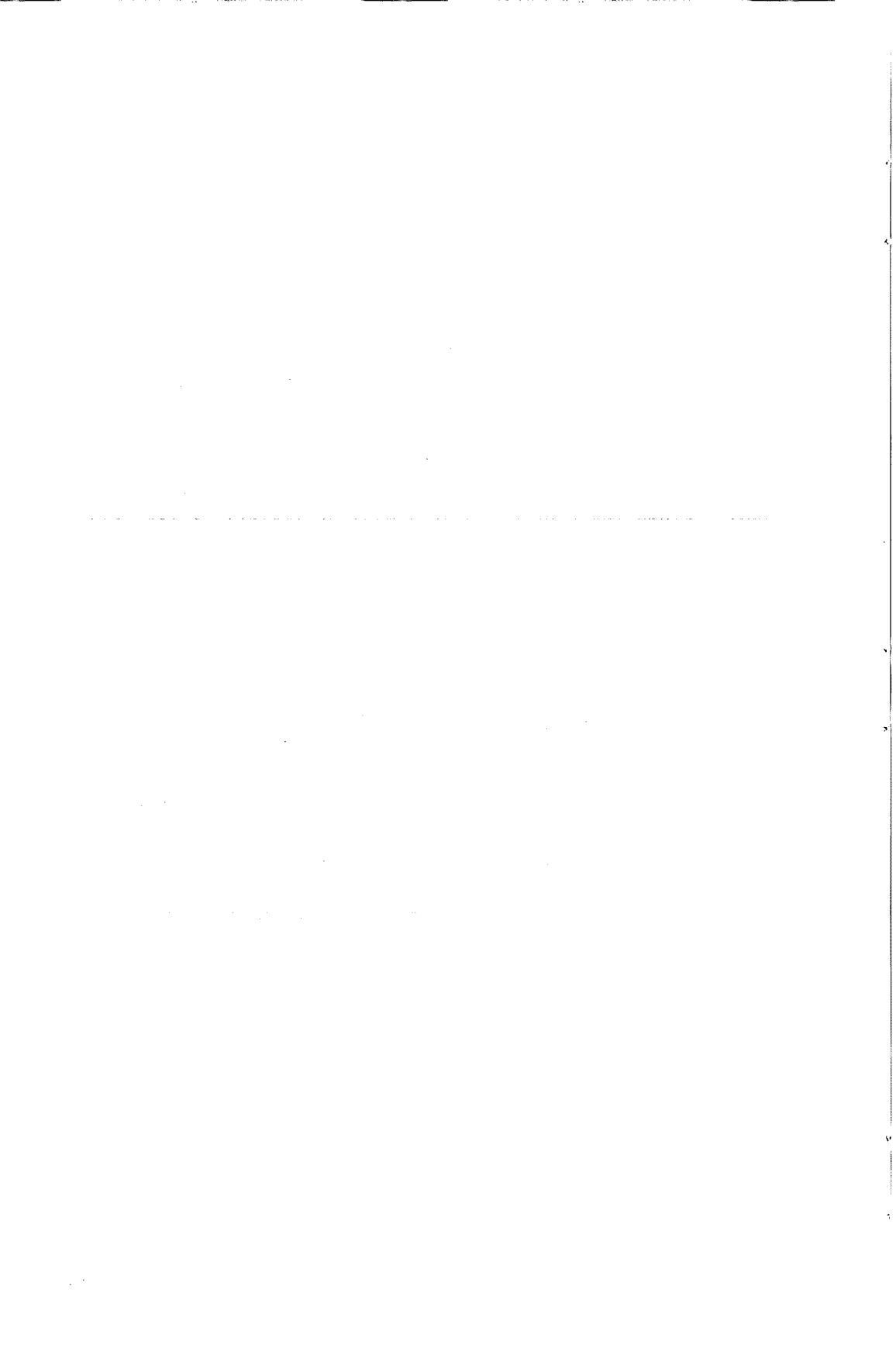
Gözönüne alınan sistemler karşılaştırıldığında, açık sistemde hata sinyalinin, eksi, sıfır ve artı değerler aldığı (Şekil 15) buna karşılık, kapalı (geri-beslemeli) sistemlerde (Şekil 11,12,13,14) her zaman artı değerler aldığı gözlenmektedir. Kağıt ruloların çözülme süreleri boyunca gergi kuvvetindeki değişimi en küçük değerine indiren sistemin önerilen ikinci sistem olduğu sonucuna varılmaktadır, Tablo 1.

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada, rulo haline getirilmiş şeritlerin çözümleri sırasında gergi kuvvetini istenen bir değere yakın olacak şekilde dar bir değişim bandı içerisinde tutan oransal iki kontrol sistemi ile bir açık sistemin karşılaştırmalı olarak inceleme ve tasarımları yapılmıştır. Bu çalışmanın ışığı altında, yer ve mekan kısıtlamaları, malzeme kullanımı, ekonomiklik, tüm çözümler süreci içinde istenen hata ve değişim aralığı dikkate alınarak uygun kontrol sistemi seçilebilir. Bu seçim isabetli yapıldığı takdirde, seçilen sistemin özel bir uygulamaya, örneğin kağıt işleme tesislerine, uyarlanması ve imalatı kolaylıkla yapılabilecektir.

#### KAYNAKLAR

- [1] F.H.Raven, Automatic Control Engineering, 4th.Ed., McGraw-Hill Book Co., Singapore, 1987
- [2] B.C.Kuo, Automatic Control Systems, 3rd.Ed., Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1975
- [3] F.J.Hale, Introduction to Control System Analysis and Design, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1973
- [4] J.J.Distefano, A.R.Stubberud, I.J.Williams, Theory and Problems of Feedback and Control Systems, Schaum's Outline Series McGraw-Hill Book Co., New York, 1967



## GAZ TÜRBİN MALZEMELERİ VE TASARIMI

O.Tuğrul Göncel \*

## ÖZET

Yüksek sıcaklık malzemeleri, çok etkenli ortamlarda çalışmaktadırlar. Bu nedenle yüksek sıcaklık malzemelerinin tasarımında bu etkenlerin malzemeye olan etkileri ve bunlara karşı malzeme direncini artırıcı gelişmelere değinilecektir, özellikle çökeltme sistemi ve kaplama yöntemlerine değinilecektir. Yüksek sıcaklık malzemelerinin en çok kullanıldığı gaz türbin motorlarında çalışabilecek malzemelerin tasarımına ve türbin kanat imalatına yer verilecektir.

## MATERIALS FOR GAS TURBINES AND DESIGN

## ABSTRACT

High temperature materials work in a multicomponent environment. In this work, the effect of these factors on materials life and high temperature material developments especially coating by inorganic salts and precipitation hardening to increase material resistance will be discussed. In this paper, materials design for the gas turbine environment and the production of turbine blades will be surveyed.

## 1. GİRİŞ

Gaz türbin motorlu uçakların yaklaşık elli yıl önce yapmış oldukları uçuştan itibaren motorların itme güçleri giderek artarak başlangıçtaki 225 N dan 11,250 N a ulaşmıştır. Bu makalede belirtilen malzeme geliştirmeleri yapılmamış olsaydı, gaz türbin motorlarının bu denli güçlendirilmesi de mümkün olamayacaktı. 15 Mayıs 1941'de Gloster E 28 ilk uçuşunu Cranwell'de yapmış ve maksimum hıza ulaşmıştır. Bu hız Spitfire türü uçakların maksimum hızına göre oldukça yüksek olup bu hızı sağlayan, 225 N itme gücü sağlayabilen Whittle W1 motoru olmuştur.

Bu tarihi uçuşun yapıışından sonra geçen elli yıl içerisinde uçaklar ve gaz türbin motorları daha da geliştirilerek güçlendirilmiştir. Son aşamada askeri amaçlı uçaklar 3250 km/h hız limitini aşmıştır. Sivil uçaklarda ise 300 tonun üzerinde tamamen yüklü halde 965 km/h civarında hız yapılabilmektedir. İlaveten İngiliz ve Fransızların Mach 2 Concorde Süpersonik yolcu taşıma uçağında servise konmuştur. Whittle'in ilk jet motorundan 50 kat daha güçlü jet motorları da zaman içerisinde geliştirilmiştir. Motorun çalışma sıcaklığı ve basınç oranının havalanma performansına etkisi Şekil 1 de gösterilmektedir.

Bir termik makinanın ideal termodinamik verimliliği aşağıda gösterilen formül ile belirlenir. Buradan da görüleceği üzere T1 sıcaklığı ne kadar büyük olursa motordan maksimum,  $\eta$ , verimlilik elde edilir.

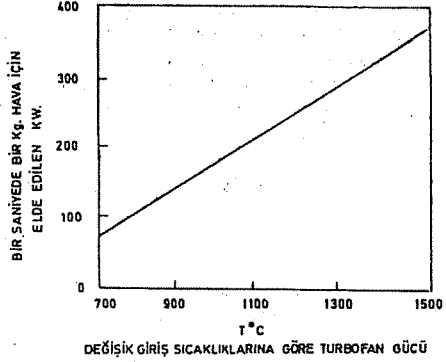
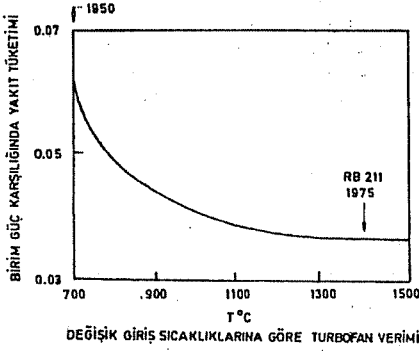
T1 = İŞLETME SICAKLIĞI

T2 = EGZOST SICAKLIĞI

$$\frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

\* Ç.Ü. Müh.-Mim. Fakültesi, Makina Müh Bölümü, Balcalı-Adana

İşletme sıcaklığı yükseldikçe daha yüksek itme kuvveti elde edilmektedir. Diğer taraftan motora giren her kg fazla hava, daha fazla itme gücü yaratacaktır. Ancak artan bu spesifik itme gücü artan yakıt sarfiyatı ile sağlanacaktır. Spesifik yakıt sarfiyatı, sıkıştırma oranı artırılarak iyileştirilebilir. Genellikle sabit spesifik itme gücü için türbin giriş sıcaklığı artırılır.



Şekil 1. Değişik Türbin Giriş Sıcaklıklarına Göre Turbofan Verimi

Whittle W1 motorlarından sonra daha yüksek giriş sıcaklıkları ve daha yüksek kompresyon basınç oranları, motor geliştirme çalışmalarında ana değişkenler olmuştur. İlk jet motorlarında malzeme açısından tamamen pistonlu uçak motorları ve buhar türbinleri için geliştirilmiş olan malzemelere bağımlı kalınmıştır. Bu ilk malzemelerin türbin bıçakları için uygun olmadığı çok kısa zamanda ortaya çıkmıştır. Kabul edilebilir ağırlıkta ve mekanik olarak güvenilir jet motorlarının geliştirilmesi ihtiyacı, yüksek sıcaklığa dayanıklı malzemelerin ilerleyici gelişmesi için teşvik edici bir ortam hazırlamıştır.

## 2- TÜRBİN KANATLARI

İlk kademe türbin motor bıçakları muhtemelen motorun diğer parçalarından herhangi birisine nazaran aşırı gerilim ve sıcaklık koşullarında çalışmaktadır. Türbin kanat malzemesi olarak en son geliştirilmiş olan süper alaşımların katılma sıcaklıklarının %80'i kadar yüksek sıcaklıklarda çalışabilmesi son 50 yılda malzeme konusunda ne denli büyük gelişmeler olduğunun belirgin bir göstergesidir. Whittle'nin ilk motorunda sertleştirilmiş ostenitik çeliğin çökmesiyle elde edilen Rex 78, dövme yöntemi ile şekillendirilerek türbin kanadı olarak kullanılmıştır. Bu şekilde üretilen türbin kanatlarının sünme mukavemetinin uygun olmadığı çok kısa zamanda saptanmıştır. Bundan hemen sonra ve kısa bir süre için Nimonic 75, bunu takiben de gerekli dövme tekniklerinin geliştirilmesi üzerine alüminyum ve titanyum ile sertleştirilmiş Nikel esaslı ilk süper alaşım olan Nimonic 80 türbin malzemesi olarak kullanılmıştır [14].

İkinci dünya savaşı boyunca stratejik malzemeleri korumak zorunda olan Almanlar, nikel esaslı malzemeleri kullanamamıştır. Bu nedenle önceleri östenitik çelikleri ve daha sonra geliştirilen titanyum ile sertleştirilmiş tinidur adlı malzemeyi kullanma zorunda kalmışlardır. Almanlar türbin bıçaklarını haddelenmiş yassı malzemelerden imâl



etmekteydiler ve malzemenin sıcaklığını, malzemenin ısıya dayanım kabiliyeti sınırına düşürebilmek için türbin bıçaklarını hava ile soğutmak zorunda kalmışlardır.

İlk Amerikan uçaklarında Cobalt esaslı St21 ve X40 malzemelerden döküm yöntemiyle imal edilmiş olan türbin bıçakları kullanılmıştır. İkinci Dünya savaşı sırasında kullanılan B17 Flying Fortress tipi uçakların türbin körüklerindeki (turbo supercharger) bıçakların bir gereksinimini karşılamak üzere yapılan bir döküm yatırımındaki proses geliştirilerek bu malzemeler türbin bıçağı imalatında kullanılmıştır. Fakat çalışma koşulları kobalt alaşımından imâl edilmiş olan türbin bıçakları için oldukça ağır gelmiş ve birincil sürünme zorlaması sonucunda türbin bıçaklarında derin yırtılmalar görülmüştür. Bunun üzerine nikel esaslı alaşımları kullanmak bir zorunluluk haline gelmiştir. Amerikalılar nikel esaslı alaşımlardan dövme yöntemi ile türbin bıçağı imalatını başlangıçta M252 ve Waspalloy ile gerçekleştirmişlerdir. Fakat alaşımlandırma için ilave edilen katkı maddelerinin miktarı arttıkça dövme işleminde giderek güçleştiği görülmüştür. Bunun üzerine, nikel esaslı döküm türbin bıçakları, 1950'li yılların sonuna kadar Amerikan uçak sanayinde yaygın olarak kullanılmıştır. İngiliz uçak sanayinde ise dövme türbin kanadı teknolojisindeki gelişmeler devam etmiş ve bunun sonucu olarak bazı uçaklarda en mukavemetli Nimonik alaşımları kullanılmıştır. Artan motor sıcaklıklarında çalışabilecek turbin kanat malzemelerindeki gelişmelere bakıldığında, malzeme:

- (a) Sünmeye
- (b) Yüksek sıcaklık oksidasyonuna ve
- (c) Isıl yorulmaya

karşı mukavemetli ve aynı zamanda malzemenin

- (d) Isıl dengeli,
- (e) Düşük özgül ağırlıklı, ve
- (f) Tok

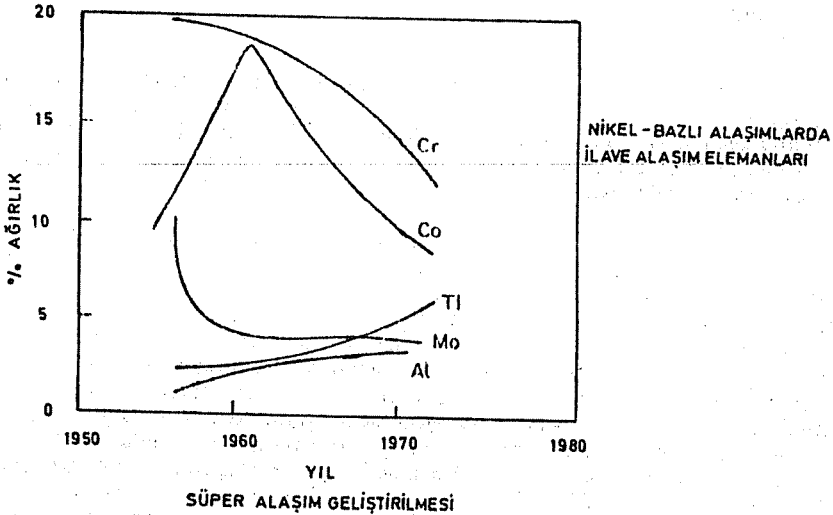
olması gerekmektedir. Turbin kanatlarında kullanılacak malzemelerin uçuş esnasında karşılaşılabilecek herhangi bir darbeye karşı mukavemetli olabilmeleri için kullanılacak malzemelerin tok ve çalışma ortamında, yüksek sıcaklıkta, faz değiştirmemesi, alaşım yapısının çözülmemesi gerekmektedir, diğer bir deyimle malzemenin ısı dengisinin yüksek olması gerekmektedir.

Bu nedenle, yüksek sıcaklık malzeme gelişiminde araştırmacılar, malzemelerin yüksek sıcaklık mukavemetine zarar vermeden, bazı durumlarda yüksek sıcaklık mukavemetini de artırarak, çalışma ortamındaki oksidasyon direncini artırmaya çalışmışlardır. Dünya üzerindeki enerji krizinin sonucu olarak daha yüksek verimlilikte ve daha yüksek kapasitedeki gaz türbinlerine olan talep artmıştır. Bu talep, yeni enerji ve kuvvet dönüştürme sistemlerini de beraberinde gündeme getirmiştir. Bu sistemler, her dönüşüm için, kısmen veya tamamen Carnot çevirimi prensibine bağlıdır. Yani gaz türbinlerinde, azami verim için, türbin giriş sıcaklığı mümkün olduğunca yüksek, çıkış sıcaklığını ise mümkün olduğunca düşük olması gerekmektedir. 1400 °C gibi yüksek sıcaklıklarda çalışan metalik elemanlar için, süper alaşımlar hayati bir önem arz etmektedir. Çalışma sıcaklığındaki yükselmeler oksitlenmeye ve korozyona neden olmaktadır. Bu da türbin kanat malzemelerinin ve diğer parçaların çalışma ömrünü belirleyen önemli faktör haline gelmektedir.

Bu nedenle, gaz türbinlerinde kullanılan kanat malzemelerinin yüksek çalışma sıcaklıklarında yüksek gerilmelere dayanabilmesi, oksitlenmeye ve korozyona karşı dirençlerinin fazla olması gerekmektedir. Yüksek sıcaklık malzemelerinde alaşım ve yüzey oksit arayüzeyindeki bağ, alaşımın oksitlenme direncini düzenleyen temel gereksinimlerden biri olduğu uzun süredir bilinmektedir [1-4]. Böyle bir bağ oluşturulmadığı zaman, malzeme çalışma ortamında dinamik şartlara, yani ısınma soğuma sırasındaki mekanik gerilime tabi olacaktır. Bu durumda oksit tabakasının döküldüğü ve oksitlenme hızının ise arttığı bilinmektedir. Termal şoklara dayanımlı ve aynı zamanda yüksek oksitlenme direncine sahip süperalaşımın üretiminde, alaşıma az miktarda nadir toprak elementlerinin ilavesinin olumlu sonuçlar verdiği, yapılan araştırmalar ile saptanmıştır [6]. Oksitlenme direnci üzerindeki bu etki, yalnız nadir toprak elementlerince sınırlanmamakta, aktif elementlerinde, Ce, Y ve homojen bir şekilde dağılmış kararlı oksit, nitrür taneciklerinde aynı etkiyi gösterdiği görülmüştür. Bugüne dek  $Cr_2O_3$  koruyucu tabaka oluşturan süperalaşım üzerinde yoğun bir araştırma yapılmasına rağmen [1-10],  $Al_2O_3$  koruyucu tabaka oluşturan alaşımlar üzerinde daha az çalışma yapılmıştır [12]. Metal-oksit arayüzeyindeki bağın gelişmesi üzerinde çeşitli teoriler atılmış ise de [2], son zamanlarda geliştirilen ve "nadir toprak elementlerinin etkisi" adı verilen model, Stringer tarafından açıklanmıştır [10].

- a-) Metal-oksit arayüzeyindeki boşlukların kaybolması
- b-) Yüzey oksit tabakasının oksit torbacıkları aracılığı ile alaşıma kenetlenmesi [6].

Metal-oksit arayüzeyinde oluşan küçük oksit torbacıklarının, en etken faktör olduğu gösterilmiştir [6]. Açıklamalar, genellikle oksit tabakasının plastik özelliğinin artmasına [1], tek bir oksit tabakasının oluşmasına, ve ayrıca oksit tabakasının ısı genleşme katsayısının, alaşımın ısı genleşme katsayısına yaklaşmasına dayanmaktadır.



Şekil 3. Super Alaşımların Yıllara Göre Geliştirilmesi

Yukarıda açıklanan modele dayanarak, yüksek oksitlenme direncine sahip yeni alaşımların üretiminin mümkün olduğu görülmektedir. Şekil 3 de yıllara göre süper alaşımların gelişimi gösterilmektedir. Alaşım-oksit arayüzeyindeki katyon boşluklarının, alaşıma aktif element veya oksit taneciklerinin ilavesi ile kayboluşu, ilave elementlerin özelliklerine bağımlı gözükmemektedir. Oksit tanecikleri, oksitlenme sırasında meydana gelen katyon boşluklarını absorbe etmektedir [8]. Katyon boşlukları alaşım-oksit arayüzeyine çökerek büyük boşlukların oluşumunu önlemektedir. Oksidasyon başlangıcında katyon boşluklarının oluşması kritik olmadıkça, aktif element veya oksit taneciklerinin kullanımı fazla önemli görülmemektedir. Çok az miktarda ilavelerin metal-oksit arayüzeyindeki boşlukları ortadan kaldırmaya yeterli olduğu, fakat uzun süreli oksitlenme durumunda bu katyonik boşlukların tekrar ortaya çıktığı görülmektedir. Göncel [1-10] tarafından geliştirilen Fe-Cr ve Fe-Cr-Ni alaşımlarında dahili nitrür çökeltilmesi bu işlemlerden bir tanesidir. Burada alaşım bünyesinde bulunan titanyum kısmı basıncı çok düşük olan ( $p_{N_2}=0.5$  atm. ve  $p_{H_2}=0.95$  atm.) ortamda titanyum, titanyumnitrür (TiN) e dönüştürülerek çökeltmesi sağlanır. Burada en önemli husus demir ve kromun nitrürlenmesini önlemektir. Bu da azot kısmi basıncını düşük, ortam sıcaklığını yüksek tutarak sağlanır. Çünkü azotun düşük kısmi basıncında Fe ve Cr nitrürlenmez. Ayrıca, Gibbs serbest enerji diyagramlarına bakıldığında [1] yüksek sıcaklıklarda, 1150 °C de, demir ve krom nitrürler dengeli olmayıp hemen çözünürler. Eğer düşük sıcaklıklarda ve yüksek  $p_{N_2}$  ortamında dahili nitrürleme yapılırsa FeN ve genellikle  $Cr_2N$  oluşur. Bu da oksidasyon direncini artırmak için kullanılan kromu çökelti halinde bağladığından, yüksek sıcaklık oksidasyon direncini düşürür.

Sünme oluşumunun iki mekanizması vardır: dislokasyon sünmesi ve yayınım sünmesi. Her iki sünme mekanizması Arrhenius kuralına uyar [13]. Her iki sünmede de yayınımın hakim olması,  $0.3T_m$  de ( $T_m$  = Ergime sıcaklığı) bu sıcaklık seviyesinde yayınım hızının fazla olması, bu sıcaklık seviyesinde ve üzerinde malzemelerde sünme olayını oldukça artırır. Göncel ve arkadaşları [ 2-4 ] tarafından ileri atılan yüksek sıcaklık oksitlenme mekanizmasında, alaşım içerisindeki çökeltiler,  $Cr_2O_3$  ve  $Al_2O_3$  oluşumunu hızlandırarak, alaşımı oksitleyici ve korozif ortamdan korur. Alaşım içerisindeki çökeltiler ayrıca oksit tabakasının yarı iletkenlik özelliğini de etkileyerek oksit-alaşım arayüzeyi bağlanmasını da etkileyerek yüksek sıcaklık oksitlenme direncini, özellikle ısı devrenin fazla olduğu durumlarda, artırır. Çökelti içermeyen süper alaşımlarda oksitlenme alaşım atomlarının dışarıya doğru hareketi ile olur. Oysa çökelti içeren alaşımlarda ise oksitlenme oksijen atomlarının alaşım içerisinde hareketi ile olur. Diğer bir deyimle çökelti içeren süperalaşımlarda oluşan oksit tabakası, n-tipi yarı iletken özelliği, çökelti içermeyen süper alaşımlarda ise p-tipi yarı iletken özelliği gösterir. Bu durum deneysel olarak Göncel [ 2-3 ] tarafından gösterilmiştir.

Yüksek sıcaklık ortamında, malzemede oluşan dislokasyon hareketlerine çökeltiler engel oluştururlar. Dislokasyonlar çökeltiye tırmanmayla aşmaya çalışacaklar, bu durum Şekil 4 de gösterilmektedir. Dislokasyon hareketlerinin çökelti tarafından yavaşlatılması, malzemelerin dolayısıyla yüksek sıcaklık mukavemetini de artırmış olacaktır. Sadece alaşım geliştirme, türbin giriş sıcaklığını yükseltmek için tasarımı yapan mühendislerin ihtiyacını karşılamadığından (Şekil 5) türbin kanatlarının dahili soğutulması zorunluluk haline gelmiştir. Convay motoru 1960 yılında havayolu servisine giren ilk hava soğutmalı türbin bıçakları içeren motor olmuştur. Mikro yapıda,

Bu tür alaşımlar yüksek sıcaklıklarda oksitlenmeye karşı mükemmel bir dirence sahiptirler. Zira bu alaşımlar, koruyucu oksit tabakası olarak yüzeyde  $Al_2O_3$  oluştururlar.  $Na_2SO_4$  ve yanma sonucu oluşan veya çevreden doğrudan doğruya türbine giren artıklar nedeniyle oluşan "sıcak korozyon" veya düşük sıcaklık sülfidasyonu malzemenin mukavemeti ile birlikte korozyon direncini de önemli ölçüde düşürür. Bunun nedeni ise  $Al_2O_3$  in  $Cr_2O_3$  e kıyasla sülfidasyona dayanıksız olmasıdır. Yüksek alüminyum-titanyum oranlarının sülfidasyonu olumsuz yönde etkilemesi de ikincil bir faktördür.

Sonuç olarak, yüksek mukavemet ile iyi bir sülfidasyon direncinin birarada bulunması esas olarak imkansızdır. Fakat son zamanlarda kullanım amacı için yeterli mukavemet ve korozyon direncine haiz IN 738 ve IN 792 gibi malzemelerin geliştirilmesi mümkün olabilmıştır. Bu malzemeler halen endüstrideki ve denizcilikteki gaz türbinlerinde artan miktarlarda kullanılmaktadır. Oksidasyon ve sülfidasyon ortamlarında yeterli bir kullanım ömrüne ulaşabilmek için uzun zamandan beri türbin bıçaklarının yüzeyine koruyucu kaplama uygulanmaktadır. Parça yüzeyine Alüminyum yayma suretiyle NiAl esaslı ara metal (intermetallik) yapılar oluşturulur. Bu tür Alümina kaplamalar türbin kanatlarına universal olarak uygulanmaktadır. Halen, korozyon direnci ile birlikte yüksek ısıya dayanıklılık özelliklerini beraberce karşılamak üzere geliştirilen M Cr Al Y ve diğer yüzey kaplamaları üzerindeki çalışmalar devam etmektedir. Göncel [7,9] tarafından zirkonyum ve seryum nitrat tuzları ile Fe-Cr alaşımlarının kaplanması gerçekleştirilmiş ve yüksek sıcaklık oksidasyon dirençlerinde büyük bir artış olduğu gösterilmiştir.

Whittle W1 motorunda, türbin diski çerçevesinin ferritik çeliklerin kullanımına müsaade etmiyecek oranda yüksek sıcaklıklara maruz kalacağı tahmin edilmiştir. Bu nedenle, daha önceleri buhar türbin bıçakları imalatında kullanılan ve bir östenitik çelik olan Stayblade türbin çerçevesi malzemesi olarak seçilmiştir. W2 B motorunun geliştirme çalışmalarının başlangıç aşamasında, nihai itme gücünü arttırmak için daha yüksek sıcaklıklarda gaz kullanılmıştır. Bunun sonucunda, disk çerçevesinin sıcaklığı  $700^{\circ}C$ 'a kadar ulaşmış ve sünme problemi ile karşılaşmıştır. Bu problemin çözümü için, daha önceleri esas olarak havacılık motorlarının süapları için geliştirilen ve daha mukavemetli bir östenitik çelik olan G 18 B, stayblade çeliğinin yerine kullanılmıştır. Bu malzeme motorun daha yüksek güçle çalışmasını mümkün kılmıştır. Ancak hızın artması, burulma gerilmelerinde artmasına neden olmuş ve sonuçta diskin üzerinde ağır yırtılmalar meydana gelmiştir. Bu yırtılmalar da türbin bıçaklarının çerçeve ringine sürtünmesi tehlikesini doğurmuştur. Diskin şekillendirme işleminin  $800-850^{\circ}C$  sıcaklık aralığında yapılması halinde çeliğin mukavemetini önemli oranda arttırmanın mümkün olduğu saptanmıştır.

Disklerin yukarıda belirtilen işleme prosesi ile üretim denemeleri çok az ilerleme sağlamış olup bu şekilde üretilmiş diskler meteor savaş uçaklarının RR Derwent motorunda kullanılmışlardır.

Yüksek mukavemete rağmen gerekli çekme gerilmelerini karşılayabilmek için bu prosesle üretilen disklerin göbek kısımlarını kalın kesitli olarak tasarlamak zorunda kalmıştır.

1940'lı ilk yıllarda, %1 krom-molibden tipi düşük sürtünme mukavemetine sahip alaşımlı çelikler uzun yıllardan beri süper ısıtıcıların tüplerinde ve buhar ile çalışan kuvvet santrallerinin borulama sistemlerinde başarı ile kullanılmaktaydı. Az miktarlar-

da vanadyum ilavesinin bu tür çeliklerde sünme mukavemetini yükselteceği hususundaki görüş bu yıllarda doğrulandı. Bunun üzerine, disk çerçevesindeki sıcaklığın 500°C'nin altında tutulması halinde belirtilen çeliklerin çalışma koşulları için yeterli sünme mukavemetine sahip olacağı ve bu çeliklerin oldukça yüksek olan emniyet mukavemetlerinin disk ağırlığında bariz bir azalmaya neden olacağı tesbit edilmiştir. Bu çeliklerin daha düşük olan ısıl genişleme sabiti nedeniyle daha düşük ısıl gerilmeler oluşmakta ve bu özellik diskin ağırlığının bir miktar daha azaltılmasına müsade etmektedir.

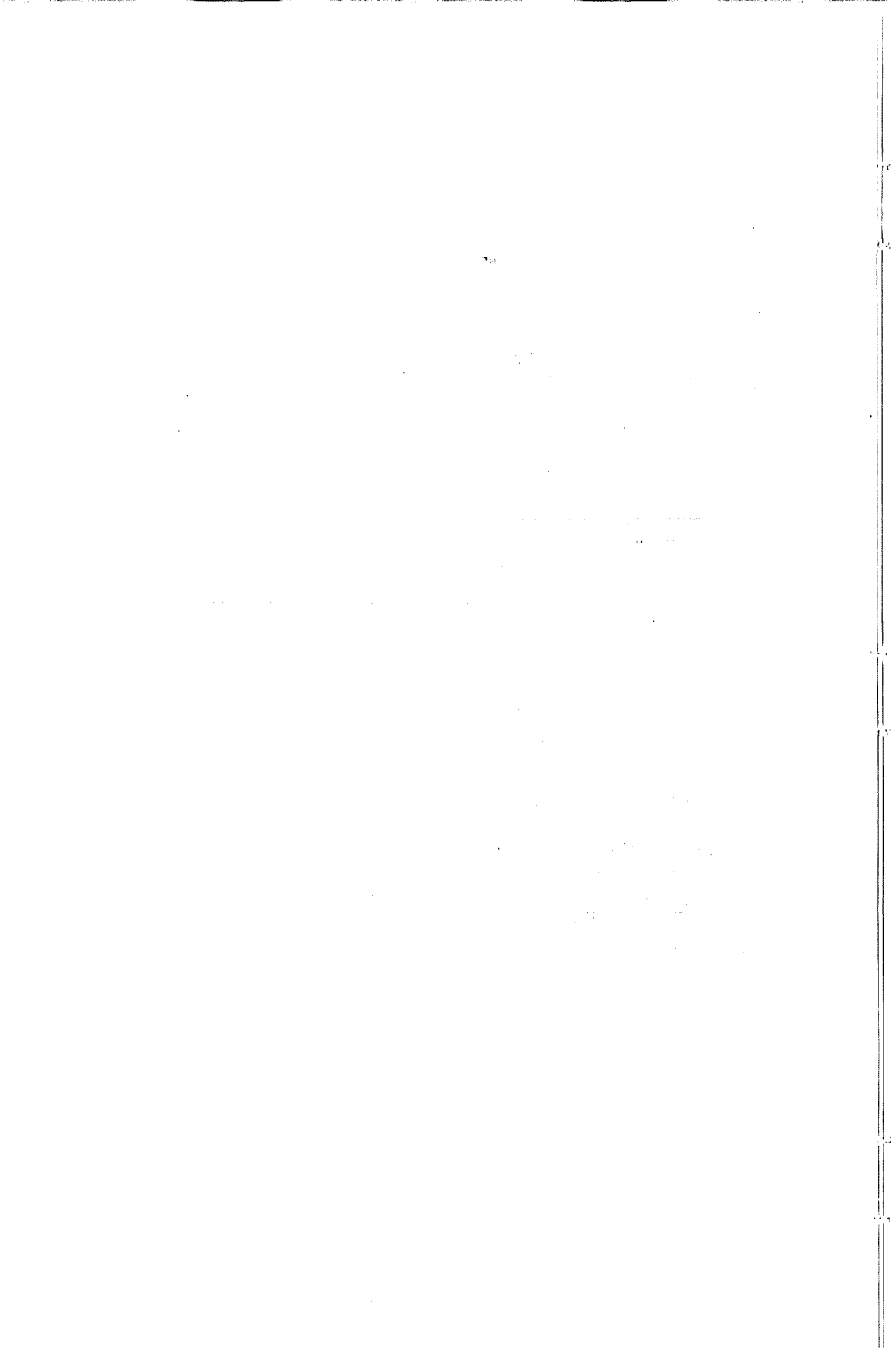
Düşük alaşımli çelikten imal edilen türbin diskinin kullanıldığı ilk İngiliz uçağı, Vampire savaş uçağı olup bu uçaktaki de Havilland Gablin motorudur. İlk deneme çalışmalarında disk çember sıcaklığının 500°C'nin altında kaldığı tesbit edilmiş ve iç bünyede Rex 78 adıyla tanımlanmış olan malzemeye seri üretimdeki motorlarda %1 krom-vanadyum-molibden içeren Hecla 153 çeliği kullanılmıştır. Bütün bu çalışmaların sonucunda disk ağırlığındaki azalma %10'u bulmuş ve dövme ve mekanik işleme operasyonları kolaylaştığından imalat süresi ve dolayısıyla maliyet önemli oranlarda düşmüştür.

Daha sonra geliştirilen %0,5 molibden-vanadyum çeliği de Hecla 153'e alternatif olarak kullanılmıştır. Daha da sonraki yıllarda ise %3 krom-molibden-tungsten-vanadyum ihtiva eden ve optimum yüksek sıcaklık özelliklerine haiz bir malzeme olan H40 çeliği, yukarıda sözü edilen her iki tür çelik yerine kullanılmıştır. Ghost ve daha sonraları Goblin motorlarında ferritik çelikleri kullanmaya devam edebilmek gayesiyle sıcaklığı yeterince düşük seviyelerde tutmak için türbin disklerini hava ile soğutmak gerekmiştir.

Almanların, ikinci dünya savaşında kullandıkları Me 262 savaş uçaklarının Jumo 004 motorlarındaki düşük alaşımli çelik diskleri koruyabilmek için hava ile soğutmaları ilginçtir.

Parça ömrünü arttırma ihtiyacı, düşük alaşımli çeliklerin oksidasyon dirençlerini arttırmayı gerekli kılmıştır. Sünme mukavemetinde aşırı miktarda düşmeye neden olduğu için tatminkar oksidasyon direnci elde etmek için çelikteki krom oranını aşırı oranda yükseltmek maalesef mümkün olamamaktadır.

Erime sıcaklığında basit %12 kromlu çeliklerin östenit fazına yakın bir bölgede bulunması gerçeği gereken geliştirme çalışmalarını kısıtlamaktaydı. Ferrit fazını kararlı hale getirmek için yeterli miktarda ilaveler yapılması, östenit fazını kararlı hale getirecek ilaveler yapılmaması halinde ısıl işlemle sonra mekanik özellikler üzerinde olumsuz etki yapan kalıntı ferrit fazının oluşumuna neden olacaktır. Buna ilave olarak istenen ikincil sertleştirmeyi (secondary hardening) elde edebilmek için kararlı karbürlerin eriyiğe alınması gerekmektedir. Bunun için de çeliğin 1200°C sıcaklıkta tamamiyle östenitik faza dönüşmesi zorunludur. İkincil sertleştirme ile  $M_2X$  (X-karbon+azot bileşimini göstermektedir) çökeltisini teşekkül ettirmek için nisbeten yüksek sıcaklıklarda menevişleme gerekmektedir. Menevişleme işlemi sırasında tekrar östenitlenme olmaması için  $Ac_1$  sıcaklığının yeterince yüksek olması zaruretli vardır. Korozyona dayanıklı martensitik çelikler olan H 46 ve FV 448, 1940'lı yılların sonlarında geliştirilmiştir. Bu çelikler de H 40 çeliğine benzer sürünme mukavemetine sahip olup Hunter ve Canberra uçaklarının Avon ailesi motorlarının türbin diskleri imalatında kullanılmıştır. Daha sonra geliştirilen H 53 ve FV 535 çelikleri daha yüksek sürünme mukavemetine sahip olup 550°C civarındaki sıcaklıklardan etkilenmeksizin servis verebilmektedir. Bu



## DAHİLİ OKSİT ÇÖKELTİLERİNİN Co-Cr-Al ALAŞIMLARININ OKSİDASYON DAYANÇLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

O. T. GÖNCEL \*

### ÖZET

Oksit çökeltileri içeren Co-Cr-Al alaşımlarının yüksek sıcaklık oksitlenme direnci dinamik ve izotermal şartlar altında incelenmiştir. Oksit tanecikleri etrafında büyüyen oksit torbacıklarının oluşumu, alaşımın yüksek sıcaklık oksitlenme direncini etkilemektedir. Ayrıca, oksit torbacıklarının dağılımı da kritik bir faktör olarak gözükmektedir. Bu çalışmada, dahili oksitleme yöntemleri kullanılarak aktif elementler kontrollü olarak, oksit çökeltilerine dönüştürülmüştür. Yüksek sıcaklık oksitlenme direnci oksit çökeltileri tarafından kontrol edilmekte ve dinamik şartlar altında da, metal-oksit arayüzeyi bağını kuvvetlendirerek, oksit tabakasının mekanik mukavemetini etkilemektedir.

## THE EFFECT OF INTERNAL OXIDE PRECIPITATES ON THE OXIDATION RESISTANCE OF Co-Cr-Al ALLOYS

### ABSTRACT

The high temperature oxidation resistance of Co-Cr-Al alloys has been investigated under thermal and isothermal conditions. The growth of oxide pegs around the precipitates directly effects the high temperature oxidation resistance of the alloy. The distribution of the oxide pegs also acts as a critical factor. The present research investigates conversion of reactive elements to oxide precipitates by internal oxidation methods and the effect of them on the oxidation behaviour of Co-Cr-Al alloys. It was found that the oxide precipitates controls the oxidation behaviour by improving the metal-oxide interface and improving the mechanical properties of the scale

### 1. GİRİŞ

Dünya üzerindeki enerji krizinin sonucu olarak daha yüksek verimlilikte ve daha yüksek kapasitedeki gaz türbinlerine olan talep artmıştır. Bu talep, yeni enerji ve kuvvet dönüştürme sistemlerini de beraberinde gündeme getirmiştir. Bu sistemler, her dönüşüm için, kısmen veya tamamen Carnot çevirimi prensibine bağlıdır. Yani, gaz

\* Ç. Ü. Müh.- Mim. Fakültesi, Makina Müh. Bölümü, Balcalı Adana

türbinlerinde azami verim için, türbin giriş sıcaklığı mümkün olabildiğince yüksek, çıkış sıcaklığının ise o denli düşük olması gerekmektedir. 1400 °C gibi yüksek sıcaklıklarda çalışan metalik elemanlar için, süper alaşımlar hayati bir önem arz etmektedir. Çalışma sıcaklığındaki yükselmeler oksitlenmeye ve korozyona neden olmaktadır. Bu da türbin kanat malzemelerinin ve diğer parçaların çalışma ömrünü belirleyen önemli faktör haline gelmektedir. Bu nedenle, gaz türbinlerinde kullanılan kanat malzemelerinin, oldukça yüksek standartlara uyması ve aynı zamanda yüksek çalışma sıcaklıklarında yüksek gerilimlere dayanabilmesi, oksitlenmeye ve korozyona karşı dirençlerinin fazla olması gerekmektedir. Yüksek sıcaklık malzemelerinde alaşım ve yüzey oksit arayüzeyindeki bağ, alaşımın oksitlenme direncini düzenleyen temel gereksinimlerden biri olduğu uzun süredir bilinmektedir [1-5]. Böyle bir bağ oluşturulamadığı an, malzeme çalışma ortamında dinamik şartlara, yani ısınma-soğuma sırasındaki mekanik gerilimle karşı karşıya kalcaktır. Bu durumda oksit tabakasının döküldüğü ve oksitlenme hızının ise arttığı bilinmektedir. Termal şoklara dayanımlı ve aynı zamanda yüksek oksitlenme direncine sahip süperalaşımların üretiminde, alaşıma az miktarda nadir toprak elementlerinin ilavesinin olumlu sonuçlar verdiği, yapılan araştırmalar ile saptanmıştır [6]. Oksitlenme direnci üzerindeki bu etki, yalnız nadir toprak elementlerince sınırlanmamakta, aktif elementlerin de, Ce, Y ve homojen bir şekilde dağılmış kararlı oksit, nitrür çökeltilerinin de aynı etkiyi gösterdiği görülmüştür.

Bugüne dek  $Cr_2O_3$  koruyucu tabaka oluşturan süperalaşımlar üzerinde yoğun bir araştırma yapılmasına karşın [1-7],  $Al_2O_3$  koruyucu tabaka oluşturan alaşımlar üzerinde daha az çalışılma yapılmıştır [7]. Metal-oksit arayüzeyindeki bağın gelişmesi üzerinde çeşitli teoriler var ise de [6], son zamanlarda geliştirilen ve "nadir toprak elementlerinin etkisi" adı verilen model, Stringer tarafından açıklanmıştır [8].

- a-) Metal-oksit arayüzeyindeki boşlukların kaybolması
- b-) Yüzey oksit tabakasının oksit torbacıkları aracılığı ile alaşıma kenetlenmesi [1-8].

Metal-oksit arayüzeyinde oluşan küçük oksit torbacıklarının, en etken faktör olduğu saptanmıştır [8]. Açıklamalar [7], genellikle oksit tabakasının plastik özelliğinin artmasına tek bir oksit tabakasının oluşmasına, ve ayrıca oksit tabakasının ısı genişleme katsayısının, alaşımın ısı genişleme katsayısına yaklaşmasına dayanmaktadır.

Yukarıda açıklanan modele dayanarak, yüksek oksitlenme direncine sahip yeni alaşımların üretiminin mümkün olabileceği görülmektedir.



Alaşım-oksit arayüzeyindeki katyon boşluklarının, alaşıma aktif element veya oksit taneciklerinin ilavesi ile kayboluşu, ilave elementlerin özelliklerine bağımlı gözükmemektedir. Oksit tanecikleri, oksitlenme sırasında meydana gelen katyon boşluklarını absorbe etmektedir [8]. Katyon boşlukları alaşım-oksit arayüzeyine çökelererek büyük boşlukların oluşumunu önlemektedir.

Oksidasyon başlangıcında katyon boşluklarının oluşması kritik olmadıkça, aktif element veya oksit taneciklerinin kullanımı fazla önemli görülmemektedir. Çok az miktarda ilavelerin metal-oksit arayüzeyindeki boşlukları ortadan kaldırmaya yeterli olduğu, fakat uzun süreli oksitlenme durumunda bu katyonik boşlukların tekrar ortaya çıktığı görülmektedir [8]. Oksitlenme sırasında küçük ve homojen dağılımlı oksit torbacıklarının meydana gelmesi, oksidasyon direnci bakımından en etken faktör olduğu görülmektedir. Alaşıma reaktif element ilavesi ile oksit torbacık yapısının kontrolünün çok zor olduğu gözükmektedir : reaktif elementler dahili oksitlenme uğrayarak dahili çökeltiler meydana getirmekte ve  $Cr_2O_3$  veya  $Al_2O_3$  koruyucu oksit filmleri bu torbacıklar etrafında büyüyerek torbacıkların yapısını etkilemektedirler. Dahili oksit çökeltilerinin daha sonra oksit torbacıklarının dağılımı, reaksiyon şartlarına doğrudan doğruya bağımlı olduğu ve kontrolünün oldukça zor olduğu görülmektedir. Bu nedenle hafniyum ilavesinin yitriyuma kıyasla daha çok tercih edildiği görülmektedir [9-10] . Yitriyum tane sınırlarına çökelererek intermetalik çökeltiler meydana getirmektedir. Bu nedenle, iç oksitlerin dağılımını doğrudan doğruya etkilemektedir, fakat hafniyum ana metalde çözelerek daha homojen bir dağılım vermektedir.  $Cr_2O_3$  oluşturan alaşımlarda, oksit çökeltileri aktif metal ilavelerine karşın daha etkili olduğu izlenmiştir. Örneğin, oksit çökeltileri içeren alaşımlarda, koruyucu  $Cr_2O_3$  tabakası elde etmek için, gerekli Cr miktarı azaltılabilir. Fakat bu durum reaktif element ilavelerinde izlenmemektedir. Bu her iki kapsam Stringer [8] tarafından ortaya konan modelde açıklanmaktadır. Bu çalışmada, aktif element olarak, Hf, Ti veya Zr içeren Co-Cr alaşımlarında kontrollü dahili oksit çökeltilerinin meydana gelişi ve  $Cr_2O_3$  - koruyucu filminin oluşumu incelenecektir. Dahili oksitleme; her iki tarafı kapalı ve bir tarafında Cr /  $Cr_2O_3$  toz karışımı bulunan kuartz kapsüllerde yapılmıştır.

## 2. DENEYSEL YÖNTEMLER

Bu çalışmada kullanılan alaşımlar Tablo-2.1 de gösterilmektedir. Bu alaşımların tümü, çalışma ortamında  $Al_2O_3$  koruyucu oksit filmi meydana getirmektedir. Bazı durumlarda, bu film kırılarak CoO ve (Co  $Cr_2O_4$ ) oksit tabakaları oluşturmaktadırlar.

TABLO - 2.1

Co	Cr	Al	Hf	Ce
Denge	10	11	0,05	-
"	10	7	1	-
"	15	6	1	-
"	10	11	-	1

\*Tüm değerler %Ağ. olarak verilmektedir

Deneyler daha önce açıklanan yöntemler doğrultusunda yapılmıştır [3-6]. Yttriyum içeren alaşımlar bu çalışmaya dahil edilmemişlerdir. Bu alaşımların "Rhines paketlemesi" ile dahili oksit çökeltitilerinin oluşumu mümkün görülmemektedir. Yttriyum oksidasyon dayanıcını da fazla artırmamaktadır. Yttriyum tane sınırlarına toplanarak yttriyum zengin intermetalik çökelti meydana getirmektedir. Oksitlenme direnci iki iki şart altında incelenmiştir.

(a) İzotermal şartlar altında

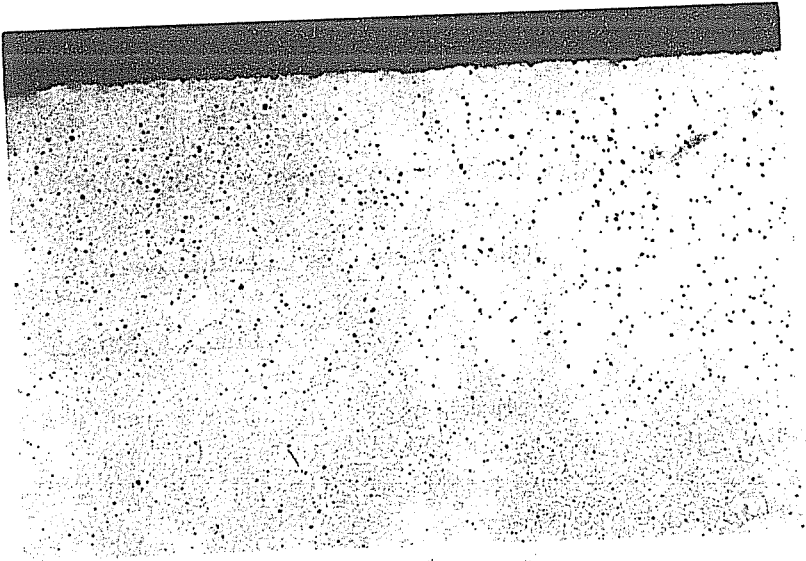
(b) 20 saatlik ısıl değişimli şartlar altında.

Oksit tabakasının morfolojik incelenmesinin yanısıra, oksit filmi %10 Bromin-Metanol çözeltisinde, alaşımdan ayırarak, filmin alt kısmı incelenmiştir. Alaşımların yüzeyleri metallografik yöntemlerle hazırlandıktan sonra, bir ucu kapalı kuvartz tüpün bir tarafına ve tüpün diğer tarafına (Co-20Al) / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> veya Cr / Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozu yerleştirildikten sonra kapatılıp diğer bir kuvartz kapsüle konarak 10<sup>-5</sup> atm. e kadar vakum edilip tüp kapatılmıştır. Kuvartz kapsüller içerisine fazla oksijeni emmeleri için tantalum folyolar konmuştur. Dahili oksitleme işlemleri 1100 ve 1200 °C de değişik sürelerde yapılmıştır.

### 3- OKSİT ÇÖKELTİLERİNİN YAPISI

Dahili oksitleme sırasında bütün alaşımlarda çok ince bir -  $Al_2O_3$  yüzey oksit filmi meydana gelmektedir: bunun dahili oksitleme reaksiyonunu herhangi bir şekilde engellemediği ve alaşım yüzey kompozisyonunu, önemli bir ölçüde değişürmediği izlenmiştir. Oksidasyon reaksiyonuna başlamadan önce yüzey oksit filmi giderilmiştir.

$HfO_2$  çökeltileri, alaşım kesiti boyunca oluşmuştur. Şekil.(1) de örnek bir kesit görölmektedir. Çökeltiler, ve CoAl fazlarında rastgele bir dağılım göstermektedir. Çökeltilerin, büyüklüğü ve sayısı Hf miktarı ile değişmektedir. Alaşım, Al miktarındaki azalma, küçük çökeltilerin oluşumunu engellemektedir. Buna ilaveten, dahili oksitleme reaksiyon sıcaklığının artması,  $HfO_2$  çökeltilerinin büyüklüğünü azaltmakta, fakat sabit bir sıcaklıkta reaksiyon süresinin uzaması, çökelti büyüklüğünü artırmaktadır.



Şekil 1. Co - 10 Cr - 11 Al - 1 Hf alaşımında dahili oksit çökeltilerinin görüntüsü ( 175X )

#### 4-OKSİDASYON KİNETİĞİ

En uzun ve en yüksek sıcaklıkta dahili oksitleme reaksiyonu incelenen alaşımlar, en yüksek oksidasyon direncini gösterdiği saptanmıştır. %0,3 ve %1,0 Hf içeren alaşımlar, dahili oksitlenmeden sonra, %0,1 Hf içeren alaşımlardan daha fazla oksidasyon dayancı göstermektedirler. Oksit çökeltilerinin varlığı, oksitlenme reaksiyonunun başlangıcını ve transit oksidasyon safhasını büyük ölçüde etkilemektedir.: çökeltiler reaksiyon başlangıcında,  $Al_2O_3$  yüzey filminin oluşumunu hızlandırmakta ve bu nedenle, oksitlenme direncini artırmaktadır. Dahili oksit çökeltilerinin fazlalığı  $Al_2O_3$  oluşumunu daha da hızlandırmakta ve transit oksidasyon safhasının kaybolmasını sağlamaktadır.

Tablo-II'de dahili oksitleme reaksiyon yapılmış ve yapılmamış alaşımların 1 saat ve 120 saat sonraki oksitlenmeden dolayı kazandığı ağırlıklar gösterilmektedir. Alüminyum miktarı az olan alaşımlarda, oksit çökeltilerinin oksidasyon direnci üzerindeki etkisinin daha fazla olduğu izlenmiştir.

TABLO - II

1100°C de OKSİTLENMEDEN SONRA KAZANILAN AĞIRLIKLAR

Alaşım	Dahili Oksitleme	Ağırlık, mg/cm <sup>2</sup>	
		1.0 h	120 h
Co-10Cr-11Al	Yapılmadı	0.15	0.9
Co-10Cr-11Al-0.1Hf	Yapılmadı	0.14	0.23
"	300h, 1200°C de	0.12	0.21
Co-10Cr-11Al-0.3Hf	Yapılmadı	0.20	0.52
"	120h, 1200°C de	0.14	0.22
"	300h, 1200°C de	0.09	0.18
Co-10Cr-11Al-1.0Hf	Yapılmadı	0.17	0.7
"	150h, 1100°C de	0.13	0.52
"	120h, 1200°C de	0.13	0.42

*Co-Cr-Al Alaşımlarının Oksidasyon Dayançları Üzerindeki Etkisi*

"	200h, 1200°C de	0.18	0.30
"	300h, 1200°C de	0.12	0.26
Co-10Cr-7Al-1.0Hf	Yapılmadı	0.35	1.0
"	300h, 1200°C de	0.21	0.42
Co-10Cr-5Al-1.0Hf	Yapılmadı	0.20	0.75
"	300h, 1200°C de	0.18	0.42
Co-15Cr-6Al-1.0Hf	Yapılmadı	0.16	0.55
"	120h, 1200°C de	0.15	0.3
Co-10Cr-11Al-1.0Ce	Yapılmadı	0.41	1.7
"	120h, 1200°C de	0.38	1.25

Co-10Cr-7Al ve Co-10Cr-5Al alaşımları genel olarak yüksek sıcaklıkta koruyucu  $Al_2O_3$  filminin kırılması ile kalın yüzey oksit tabakaları meydana getirmektedir. Fakat dahili oksit çökeltieri ile yüklenme sonucu  $Al_2O_3$  filminin kırılma olasılığı azalmakta ve  $CoAl_2O_4$ , CoO tabakalarının oluşumunu önlemektedir.

### 5- DİNAMİK OKSİTLENME KİNETİĞİ

Isıl değişimli oksidasyon testleri 1200 °C de 20h ısıtıldıktan sonra oda sıcaklığına ani soğutma ile yapılmıştır. Bu testle  $Al_2O_3$  filminin, alaşımla olan bağı, ayrıca çeşitli Hf miktarlarının ve dahili oksitleme sürelerinin etkileri incelenmiştir.

0.1 Hf ve 0.05 Hf ihtiva eden alaşımlarda, dahili oksitlemeden sonra, oksidasyon direncinde herhangi bir artış izlenmemiştir, fakat 0.3 Hf ve 1.0 içeren alaşımlarda, dahili oksitlemeden sonra, oksidasyon direncinde büyük bir artış izlenmiştir.

Alaşımların ısıl değişimli oksidasyon testlerinden sonra kazandığı ağırlıklar ise Tablo III de verilmektedir.

TABLO III

1200°C de DİNAMİK OKSİTLENMEDEN SONRA KAZANILAN AĞIRLIKLAR

Alaşım	Dahili Oksitleme	Kazanılan ağırlık mg/cm <sup>2</sup>
Co-10Cr-11Al-0.3Hf	Yapılmadı	3.7
"	1100°C de 68 h	2.1
"	1200°C de 300 h	1.0
Co-10Cr-11Al-1.0Hf	Yapılmadı	3.0
"	1100°C de 150 h	2.0
"	1200°C de 200 h	1.6
"	1200°C de 300 h	1.0
Co-10Cr-5Al-1.0Hf	Yapılmadı	170
"	1200°C de 120 h	140
"	1200°C de 300 h	120
Co-15Cr-6Al-1.0Hf	Yapılmadı	40
"	1200°C de 300 h	34

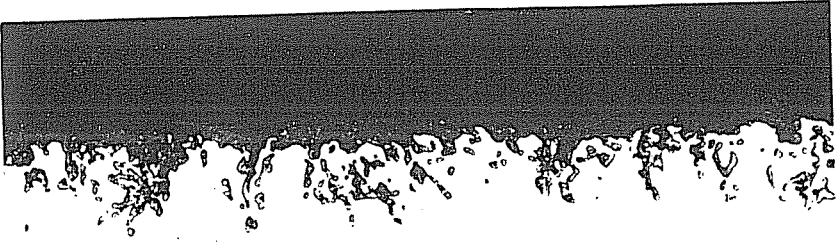
## 6-YÜZEY OKSİT YAPISI

İzotermal oksidasyondan sonra, bütün Co-10Cr-11Al-Hf alaşımları ince  $Al_2O_3$  filmi oluşturmuşlardır. Buna ilaveten hafniyum oksidasyon esnasında yüzeye yakın bölgelerde dahili oksit çökeltileri meydana getirmektedir. 1200°C de 200 h dahili oksitlemeden sonra, ısı değişimli oksidasyona tabi tutulan Co-10Cr-11Al-1.0Hf alaşımında meydana gelen yüzey oksit,  $Al_2O_3$ , Şekil (2a) da görülmektedir. Yüzey oksit tabakası ince ve kompakt bir görünümde. Dahili oksitleme yapılmamış, fakat aynı şartlar altında devir-daimli oksidasyona tabi tutulmuş, aynı alaşım daha kalın ve gözenekli  $Al_2O_3$  filmi oluşturmuştur, Şekil (2b). Aynı zamanda büyük sayıda, alaşım içerisine doğru büyüyen oksit torbacıkları görülmektedir.

Co-10Cr-7Al-1Hf alaşımı da benzer bir oksitlenme davranışı göstermektedir. Bu alaşımında da, dahili oksitlemeye tabi tutulmuş numunelerde, oksit torbacıkları sayı olarak az ve küçük bir yapıya sahipler. Yüzey oksit tabakaları, bu oksit torbacıkları üzerinden dökülmekte ve bu durum alaşımın ısı değişimli oksidasyon direncini büyük



(a)



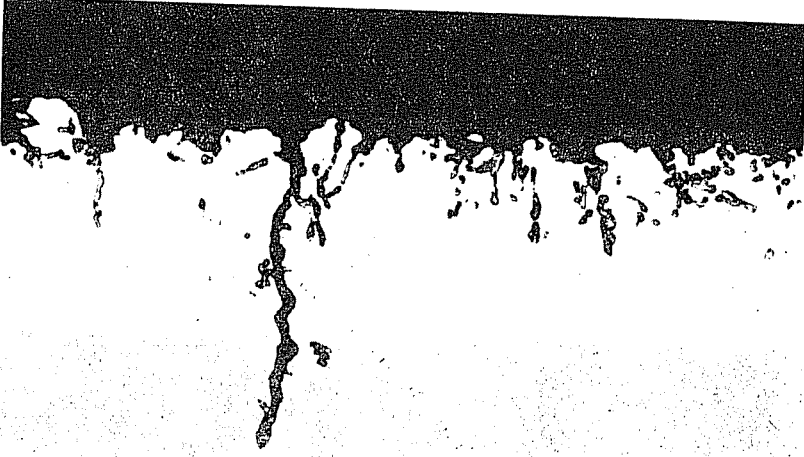
(b)

**Şekil 2. Co - 10 Cr - 11 Al - 1 Hf alaşımının 1200°C de oksitlendikten sonraki kesit görüntüsü**

**(a) Dahili oksitlenmiş (600X)**

**(b) Dahili oksitlenme yapılmamış (600X)**

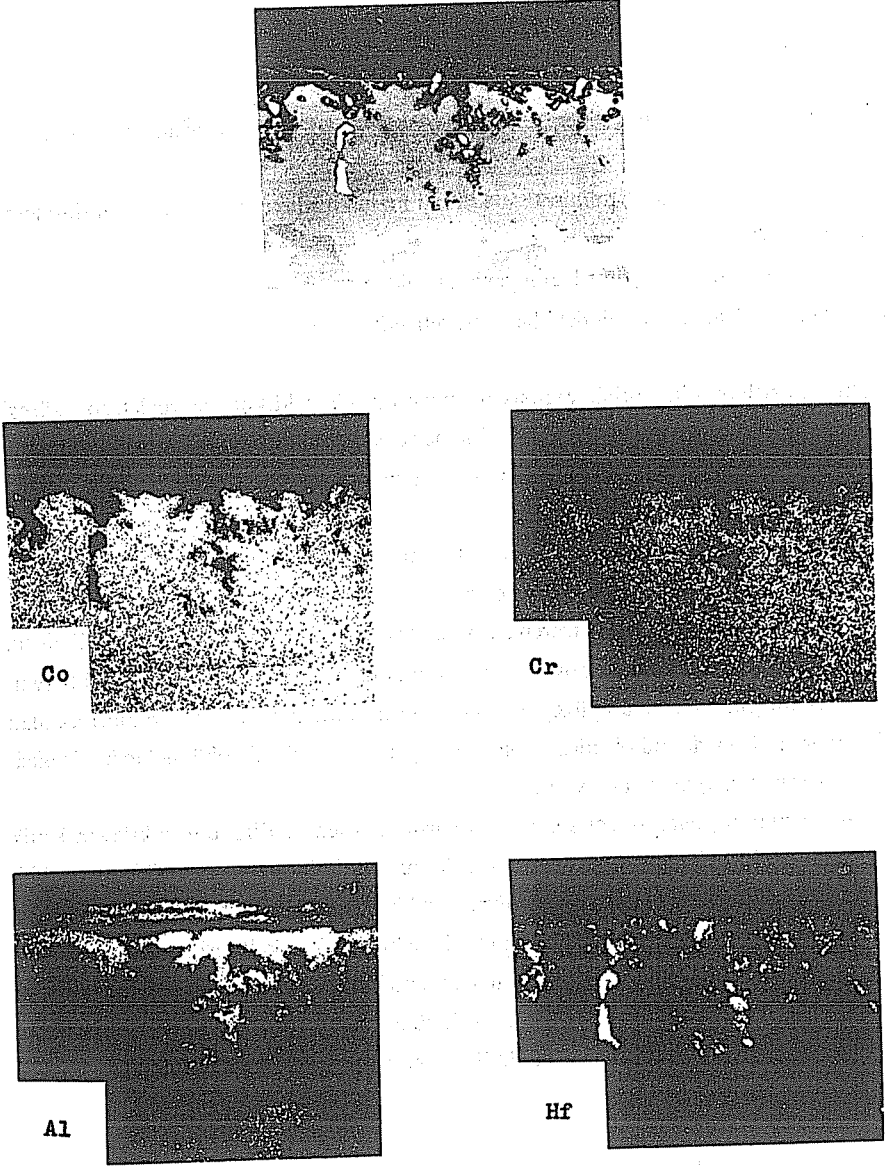
ölçüde azaltmaktadır. Yüzey oksit filmi, genellikle dahili oksidasyona tabi tutulmamış alaşımlarda dökülmektedir, zira bu alaşımlar çok büyük oksit torbacıkları içermektedir.Şekil (3) de örnek bir numune kesitini gösterilmektedir.



**Şekil 3. Co - 10 Cr - 7 Al - 1 Hf alaışımının dahili oksitlenme ve 1200 °C de ısıl değişimli oksidasyondan sonraki kesit görüntüsü ( 600 X)**

Yüzey oksit tabakası soğuma sırasında oksit torbacığı üzerinden dökülmüştür. Şekil (4) de dahili oksitlemeye tabi tutulmamış alaşımın, 1200°C de 17x20 h lik devir-daimli oksidasyondan sonraki kesitinin Elektron Mikro Prob Analizi gösterilmektedir. Oksit torbacıklarının  $Al_2O_3$  ve bu torbacıkların  $HfO_3$  çökeltileri etrafında büyüdüğü görülmektedir. Oksit çökeltileri içeren 0.3 ve 1.0 Hf alaşımlarında, yüzey oksit tabakası CoO oluşumu izlenmektedir.. % 0.3 den daha az Hf içeren alaşımlarda dahili oksitleme etkisiz kalmaktadır. Bunun neticesi olarak yüzey oksit tabakası, vasıflandırılmamış alaşımlar gibi, Co içermektedir.





**Şekil 4. Co - 10 Cr -11 Al - 1 Hf alaşımının ısıł değişimli oksidasyon sonraki elementlerin dağılımı ve elektron mikroskop görüntüleri (EPMA)**

## 7-SONUÇ

Hf ve HfO<sub>2</sub> yüklemesinin süperalaşımın oksidasyon dayancı üzerindeki etkileri:

- (a) Koruyucu Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> filminin teşekkülünü hızlandırmakta ve oksidasyon direncini artırmaktadır.
- (b) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> filminin büyüme hızını yavaşlatmaktadır.
- (c) Alaşım-oksit arayüzeyindeki bağı kuvvetlendirmektedir.

Dahili oksitlemenin etkisi, reaksiyon sıcaklığı yükseldikçe ve reaksiyon süresi uzadıkça, fazlaşmaktadır. Dahili oksitleme reaksiyonu difüzyon kontrollü olmadığı görülmekte ve çökelek teşekküllü alaşım kesiti boyunca meydana gelmektedir.

Hf ve HfO<sub>2</sub> dopinglemesi topyekün oksitleme hızını azaltmaktadır, bu da Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> filmindeki ya kafes difüzyonunun ya da kısa-devre yollarındaki transportun azaldığına bağımlı gözükmemektedir. HfO<sub>2</sub> içeren alaşımlardaki, alaşım-oksit bağının kuvvetli oluşu, alaşım-oksit arayüzeyindeki boşlukların azlığına bağımlıdır. Oksit tanecikleri katyon boşluklarını yutmak ve arayüzeyde çökeltmelerini önlemektedir. Hf miktarı az olan alaşımlarda, devir-daimli oksidasyon sırasında yüzey oksit filmi dökülmekte bu da oksit torbacıklarının azlığından dolayıdır.

Bu araştırmanın genel amacı süperalaşımın oksitlenme direncini etkileyen kritik faktörleri, reaktif element veya oksit çökeltilerinin etkilerini bulmaktır. Yüksek sıcaklık oksidasyon direncini etkileyen ana faktörlerden biri, dahili oksit parçacıklarının dağılımı gözükmemektedir. Bu nedenle süperalaşımlarda dahili oksit çökeltilerinin oluşumu, aktif element ilavesinden daha etkili olduğu saptanmaktadır. Hernekadar aktif elementler oksidasyon reaksiyonu sırasında dahili oksit çökeltileri meydana getiriyorsa da, dahili oksit çökeltilerinin dağılımı ve büyüklüğü bu çalışmada ortaya çıkan en önemli bulgulardan biridir.

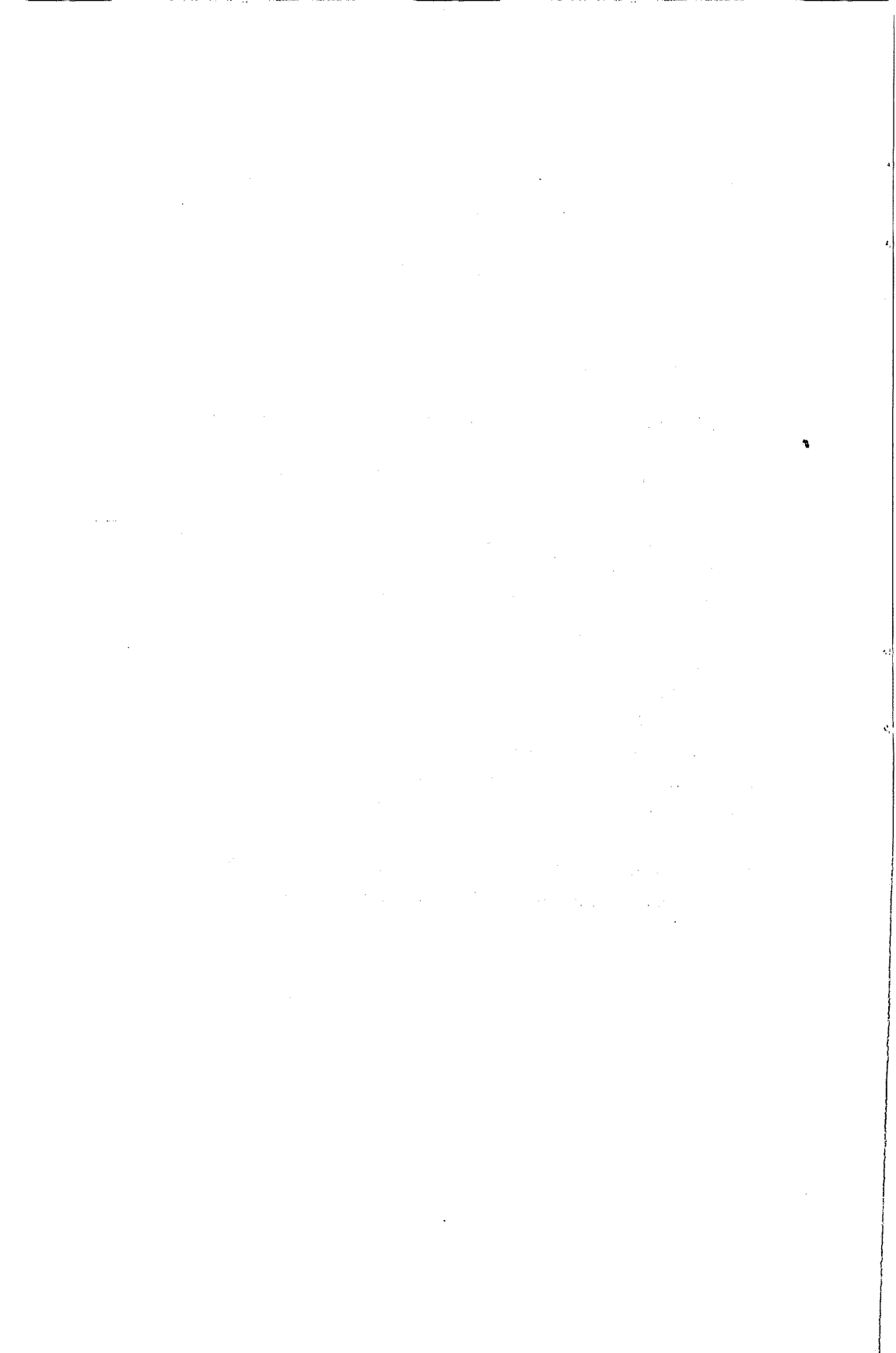
Bu çalışmada kullanılan dahili oksitleme metodu, rhines paketlemesi ticari amaçla kullanılmaya pek elverişli olmamaktadır. Bu nedenle, yüksek sıcaklık malzemelerinin, dahili oksitleme ile oksidasyon direncini artırmak için diğer üretim metodlarının incelenmesi gerekmektedir. Genel olarak bu çalışmadan ortaya çıkan sonuçları şu şekilde sıralayabiliriz.

(a) Çökeltilerin negatif serbest enerjisinin yüksek olması gerekmektedir, ve bu nedenle reaksiyon sırasında ayrışmaması ve ana matriksde çözmemesi gerekmektedir.

(b) Dahili oksit çökeltilerinin dağılımını ana matriksde kontrol etmenin mümkün olduğu görölmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] G.R.Wallwork ve A.Z. Hed, Oxidation of Metals 3 (1971) 229  
Plenum Press.
- [2]. C.S. Giggins ve F.S. Pettit, Metallurgical Transactions 3 (1971) 1071
- [3] O. T. Göncel, J.Stringer ve D.P.Whittle, Corrosion Science 18 (1978) 701  
Pergamon Press.
- [4] O. T. Göncel, D.P.Whittle ve J.Stringer, Corrosion Science 19 (1979) 305  
Pergamon Press.
- [5] O. T. Göncel, D.P.Whittle ve J. Stringer, Oxidation of Metals, 15 (1981)  
287.Plenum Press
- [6]. O.T. Göncel, D. P.Whittle ve J.Stringer, 18. Corrosion Symposium,  
Manchester - İngiltere (1977)
- [7]. I. G. Wright ve J. Stringer, Metallographia 6 (1973) 65
- [8]. J. Stringer, B.A. Wilcox ve R. I .Jaffee, Oxidation of Metals, 5 (1972) 11
- [9]. O. T .Göncel, 3. Ulusal Metalurji Kongresi, 773 (1979)
- [10]. O.T.Göncel, D.P. Whittle ve J. Stringer, 153 rd. Journal of  
Electrochemical Society Meeting, Washington, U.S.A. ( 1978)



MEKANİK RADYAL SIZDIRMAZLIK ELEMANLARININ HİDRODİNAMİK  
ANALİZİ I: ELASTİK DEFORMASYON

Erdem KOC (\*)

Emel Ceyhun ÇULHA (\*)

ÖZET

Bu çalışmada mekanik yüzey sızdırmazlık elemanlarının tasarım ilkeleri teorik olarak araştırılmıştır. Elemanlar dinamik çalışma koşullarında analiz edilerek elastik deformasyonun sistem performansına etkileri incelenmiştir. Sızdırmazlık sağlanacak şekilde hidrostatik ve hidrodinamik denge durumları araştırılarak bazı boyutsuz tasarım parametreleri tarif edilmiştir. Bu parametrelerin sistem davranışına olan etkileri incelenmiş ve önemli sınırlamalara işaret edilmiştir.

HYDRODYNAMIC ANALYSIS OF MECHANICAL RADIAL FACE SEALS  
I: ELASTICAL DEFORMATION

ABSTRACT

In this study, design principles of Mechanical face seals have been investigated theoretically. By analysing the sealing members under dynamic working conditions, the effects of elastical deformation on the system performance have been examined. Having studied the hydrostatic and hydrodynamic balance positions being necessary for real sealing function, some non-dimensional design parameters were introduced. The effect of these parameters on the behaviour of the system have been analysed and important restrictions were pointed out.

---

(\*) Ç.U. Müh.- Mim. Fak. Makina Müh. Bölümü, ADANA

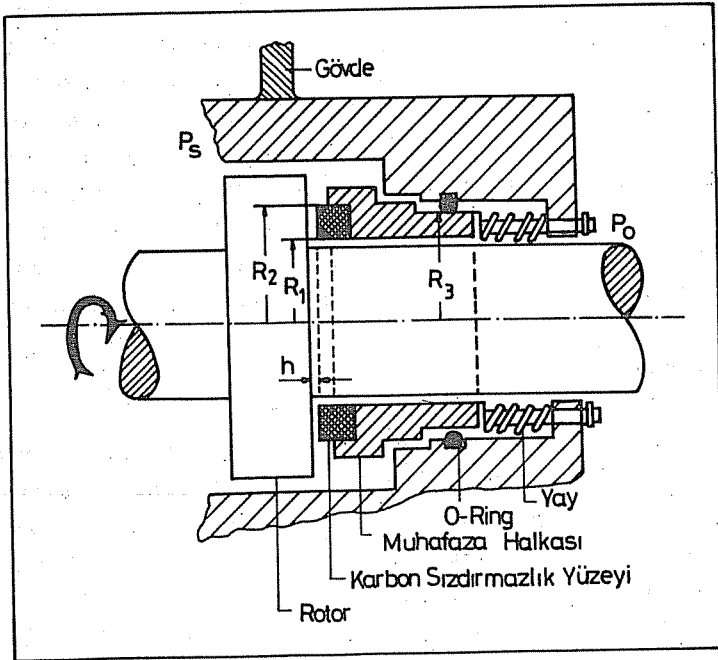
## 1. GİRİŞ

Endüstriyel uygulamalarda basınçlı (özellikle yüksek) akışkanın fonksiyon gereği normal kullanım alanı dışında istenmeyen bir şekilde sızmasının (kaçmasının) önlenmesi istenir. Bu fonksiyonu yerine getiren elemanlara sızdırmazlık elemanları denir. Bu elemanlar sızdırmazlığı temin ederken karşı elemanlarla etkileşimli çalışma durumu ve konstrüksiyonuna göre statik ve dinamik elemanlar olmak üzere iki şekilde sınıflandırılabilirler.

Statik sızdırmazlık elemanları genelde iki statik eleman (yüzey) arasında hareketsiz yapıya sahip elemanlardan ibarettir. Uygulamada en çok karşılaşılan sızdırmazlık elemanları conta, O-Ring ve değişik malzemelerden imal edilmiş salmastra vb. şeklinde özetlenebilir. Dinamik sızdırmazlık elemanları ise birbirine göre izafi hareket eden iki yüzey arasında uygun yağ filminin teşkil edilebildiği elemanlardır. Başka bir ifade ile bu tip elemanlar pompa, motor vb. basınçlı akışkanı ihtiva eden makinalarda özellikle tahrik mili üzerinden ve sistem içindeki uygun açıklıklardan akışkanın sızmasının, hidrodinamik ve hidrostatik basınç oluşumu prensibi ile önleyen elemanlardır. Tasarımları ve çalışma prensipleri açısından bu elemanlar hidrodinamik eksenel kaymalı yataklara benzerlik göstermektedirler. Bu elemanlar sızıntı yolunun durumu ve konstrüksiyonları gereği mekanik radyal sızdırmazlık elemanı olarak adlandırılır.

Sekil-1 tipik bir mekanik sızdırmazlık elemanını göstermektedir. Sistem birbiri üzerine yay ve akışkan basıncı kombinasyonu ile bastırılan bir çift düz yüzeyli halkadan oluşmaktadır. Bu halkalardan biri sabit, diğeri ise hareketlidir. Hareketli parça mil üzerine monte edilmiştir. Sabit eleman ise muhafaza halkasının içerisine yerleştirilmiştir. Sabit ve hareketli yüzey muhafaza halkasının arka yüzeyine radyal olarak yerleştirilen bir yay ile birbirine bastırılmıştır ve böylece sızdırmaz yüzeylere bir ön yükleme yapılmıştır. Çalışma esnasında

sistemde bulunan akışkan, çalışma basıncı etkisiyle mevcut aralıklardan çıkmaya çalışacaktır. Muhafaza halkası ile sabit gövde arasına yerleştirilen bir O-Ring ile bu bölgede oluşabilecek aksel akışkan kaçağı engellenmiştir. Çalışma sırasında akışkan, sistem basıncının etkisiyle aksel yönde muhafaza halkasının radyal yüzeylerine bir kuvvet uygulayacaktır. Sistem basıncının etkisiyle ortaya çıkan bu kuvvet, sızdırmaz yüzeyler arasındaki aralığı kapamaya çalışacaktır. Bu aksel kapama kuvveti yanında yayın etkisi ihmal edilebilecek düzeydedir. Kapama kuvvetine karşı, aralık içerisindeki akışkan filmi bir basınç alanı oluşturarak sızdırmaz yüzeyleri birbirinden ayırmaya çalışacaktır. Aksel kapama kuvveti ne sızdırmaz yüzeyler arasındaki aralığı gereğenden fazla kapayarak metal-metal sürtünmesine izin verecek kadar fazla, ne de aralıktan akışkan kaçağına sebep olacak kadar az olmamalıdır. Bu nedenle aralık içerisindeki yağ filminin kalınlığı bu tip sistemlerin performansında önemli bir parametre durumundadır.



Sekil - 1 Tipik Bir Radyal Sızdırmazlık Düzeni (14)

Bu filmin şekli ve büyüklüğü, gerek dönen ve sabit sızdırmazlık halka yüzelerinin mükemmel olup olmadığına (pürüzlülük, eksen kaçıklığı vb.) gerekse halka malzemelerine bağlıdır. Uygun yağ filmi teşekkülü için uygulamada iki değişik malzeme türü seçimi tercih edilir. Bir yüzey (hareketli veya sabit) diğerine göre daha yumuşak olabilir. Sekilde görülen sabit sızdırmazlık elemanı karbon malzemedan seçilmiştir. Yağ film şekli dolayısıyla ortaya çıkan iç akışkan basıncının teşekkülü için birçok mekanizma öne sürülmüştür. Bunlardan en önemlisi "daralan yağ kaması" mekanizmasıdır. Biri diğeri üzerinde dönen iki paralel yüzey arasında yük taşıyabilen hidrodinamik yağ filminin teşekkülü için hareket yönünde daralan bir yağ kamasının mevcut olması gerekmektedir. Bu kama, eksenel kaymalı yataklarda olduğu gibi çeşitli nedenlerden dolayı ortaya çıkmış olabilir. Bu nedenlerden en yaygınları eksen kaçıklığı, yüzey düzgünsüzlüğü, yüzeylerin termal deformasyonu [1,2,3,4] şeklinde özetlenebilir.

Sızdırmaz yüzeyler üzerine gelen eksenel kapama kuvveti aralık içerisindeki yağı aşırı ısınmadan dolayı, inceltecek bu da yüzeyler üzerinde bir termal deformasyon oluşmasına neden olacaktır. Yüzeylerden birinin diğerine göre daha elastik olması istendiğinden elastik malzeme deformasyondan daha çok etkilenecektir. Deformasyon etkisiyle elastik malzemenin sızdırmaz yüzey formu değişecek ve bu da hidrodinamik basınç oluşumunu sağlayacaktır. Ayrıca eksenel titreşim, yüzeyler arasındaki izafi eğim, yağın kavitasyonu gibi etkenler de yağın formuna etki eden parametrelerdir [5,6,7].

Bir diğeri mekanizma da viskozite kamasıdır [8,9]. Yağ filmi kalınlığı boyunca viskozite değişikliği hidrodinamik yük taşınmasını sağlayacak bir basınç alanı oluşturmaktadır. Termal ve viskozite mekanizmalarından sonra deformasyon mekanizması üzerinde durulmuştur. Yatak elemanlarının termal deformasyonunun daralan yağ kaması film değişimine sebep olduğu fikri ortaya çıkmıştır [10,11]. Benzer mekanizmaların eksenel yatak ve sızdırmazlık elemanları üzerindeki etkileri topluca araştırılmıştır [12,13].

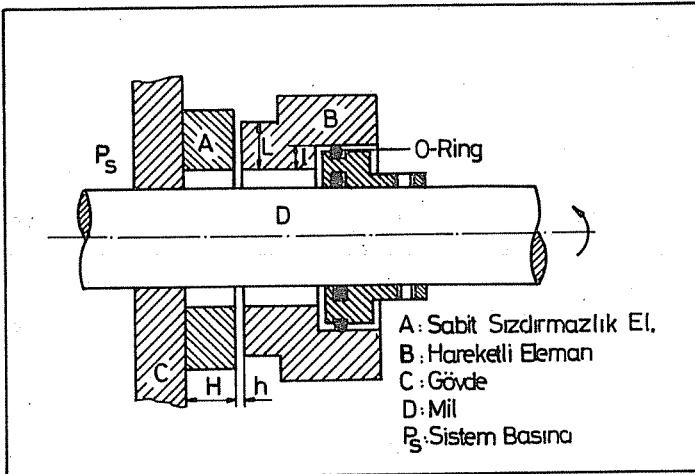


Bu çalışmada mekanik sızdırmazlık elemanlarının birbirine göre izafi hareket eden sızdırmaz yüzeyleri üzerinde oluşabilecek deformasyona etki eden parametreler incelenmiştir. Bu parametrelerin birbiriyle değişimi, hidrostatik ve hidrodinamik denge üzerinde durulmuştur. Deformasyonun varolması halinde akışkan kaçağı ve radyal koordinat boyunca değişik boyutsuz deformasyon parametresiyle yağ film kalınlığının değişimi incelenmiştir.

## 2. HIDROLİK DENGE VE DEFORMASYON

### 2.1. Hidrolik Denge

Düzgün ve paralel yüzeyli mekanik elemanlarda hidrostatik denge için Şekil-2'deki sistemde görüldüğü gibi  $l/L$  oranı esas alınabilir (5). Sızdırmaz yüzeyler arasındaki yağ filminin geliştirdiği basınç tarafından yüzeye etki eden kuvvet  $P_s \cdot L/2$ , basınç dengesini sağlayan  $l$  radyal genişliğindeki elemandan gelen  $P_s \cdot l$  kuvvetini dengelemelidir. Bu nedenle yüzeylerin eğrilik ve düzgünlükleri ihmal edilirse şekilde tarif edilen  $P_s$  sistem basıncının etkili olduğu alanlar oranı  $l/L$  şeklinde yazılabilir.



Şekil - 2 Sızdırmazlık Elemanının Hidrolik Dengesi (14)

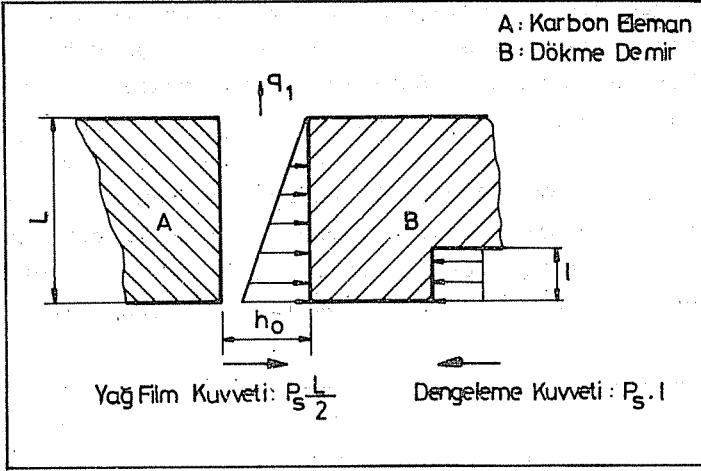
Eğer bu oran 1'den büyükse "dengelenmemiş" ve 1'den küçükse "dengelenmiş" sistemden bahsedilebilir. İki yüzey arasındaki aralığı kapamaya çalışan kuvvet  $P_s.l$  olup, bu kuvvet eğer  $l = L/2$  ise dengede tutulabilecektir. Ancak  $l > L/2$  olduğunda dahi, metal-metal sürtünmesinin olmadığı deneylerle gösterilmiştir (15).

Yüzeylerin eğimsiz ve pürüzsüz olduğu kabul edilen durumda yüzeyler arasındaki yağ filmi yük taşıyıcı hidrodinamik basınç alanı oluşturamayacaktır. Eksenel kapama kuvvetinin ( $P_s.l$ ) arttığı durumlarda da bu sebepten dolayı metal-metal sürtünmesi kaçınılmaz olacaktır. Bu tehlikeyi ortadan kaldırmak için yüzeyler arasında bir miktar eğimin mevcut olması istenir. Ancak eğimin çok büyük olması ve de film üzerine gelen yükün artması halinde sistemin hidrodinamik dengesi bozulabilecektir. Bu nedenle, yağ filminin teşkil edeceği eğimli daralan kamanın dengeyi sağlayacak büyüklükte olması istenir.

Sızdırmazlık elemanının hem hidrolik yük dengesi, hem de minimum akışkan kaçağı için optimum sayılabilecek bir yağ filmi kalınlığına sahip olması arzu edilir. Ancak, uygulamada, aralıktaki akışkan kaçağını sürekli olarak engellemek mümkün olamamaktadır. Aralıktan geçen akışkan miktarını veren ifade sıkıştırılamayan bir akışta birim genişlik için yazılırsa ;

$$q_1 = \frac{P_s \cdot h_0^3}{12 \cdot \eta \cdot L} \quad (1)$$

bulunur. Burada  $q_1$ , birim akışkan debisini,  $P_s$  sistem basıncını  $h_0$  aralıktaki minimum film kalınlığını ve  $\eta$  akışkanın dinamik viskozitesini göstermektedir. Şekil-3 düzgün ve paralel iki eş yüzey arasındaki akışkan kaçağı durumunu göstermektedir.



Sekil - 3 Düzgün ve Parellel Yüzeyleerde Akış ve Yük Durumu

Minimum film kalınlığındaki küçük bir değişimin bile aralıktaki akışkan kaçağı miktarını önemli ölçüde etkilediği düşünülerek, sistem çalışma basıncına, akışkan özelliklerine uygun yağ filmi kalınlığı seçimine dikkat etmek gerekmektedir. Sızdırmaz yüzeyler üzerine gelen aksenal kuvvetler yağ filmi kalınlığına etki ettiklerinden, bu kuvvetlerin denge hali için aşağıdaki ifade verilebilir;

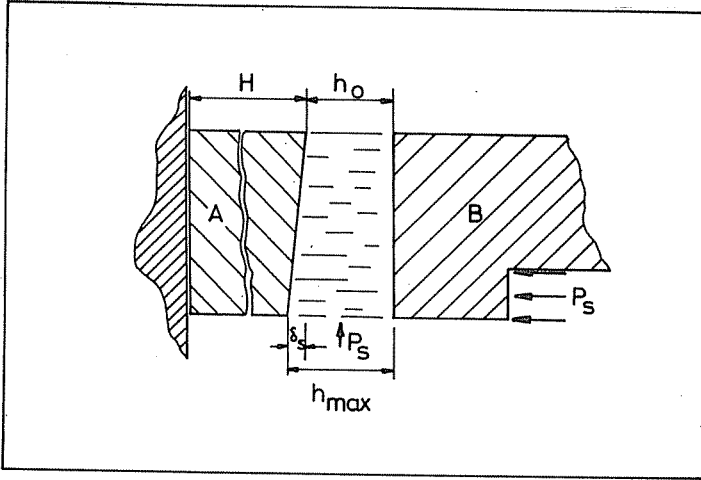
$$P_S \cdot l = \int_0^L p \cdot dx \quad (2)$$

(2) ifadesi,  $\bar{\delta}_S$  boyutsuz deformasyon miktarına bağlı olarak tanımlanan bir boyutsuz kuvvet katsayısı  $C_W$  ile şu şekilde yazılabilir;

$$P_S \cdot l = C_W \cdot P_S \cdot L \quad (3)$$

## 2.2. Elastik Deformasyon

Daha önce bahsedildiği gibi yüzey çiftlerinden birinin basınç etkisiyle elastik deformasyona uğrayabileceği bilinen bir gerçektir. Şekil-4, bu şekilde elastik deformasyona uğrayabilen yüzey çiftine sahip bir sızdırmazlık tertibatını göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi dökme demir ile yumuşak karbondan seçilmiş yüzey, basınç etkisiyle deformasyonu kolaylaştıracak uygun yüzey çiftini teşkil etmektedir. Deformasyona uğramış karbon yüzeyin durumu yine aynı şekilde görülmektedir.



Şekil - 4 Sızdırmaz Yüzeylerde Deformasyon Durumu

Şekilde görülen A elastik eleman sızdırmaz yüzeyi bir miktar ( $\delta_s$  kadar) deformasyona uğramıştır. Yağ filminin oluşturduğu basıncın neden olduğu bu deformasyon, yağ filminin kalınlığının x radyal uzunluğu boyunca değişmesine neden olacaktır.

Deformasyonun maksimum olduğu noktada film kalınlığı da maksimum olacaktır ( $h = h_0 + \delta_p$ ). Burada  $\delta_p$  film basıncının neden olduğu elastik malzeme üzerindeki deformasyon miktarıdır.

Daha önce değinilen nedenlerden ötürü meydana gelen deformasyon miktarı herhangi bir noktadaki basıncın fonksiyonu değil , aralıktaki tüm basınç dağılımının bir fonksiyonu olacak, dolayısıyla her noktada değişik değerler alacaktır. Ancak deformasyon miktarını hesaplamak için önce tahmini ve basitleştirilmiş yöntemler kullanılmasının, daha sonra elde edilebilecek gerçek sonuçlara tahmini bir yaklaşım yapılması açısından yerinde olacağı düşünülmüştür.

Hooke kanununu gözönünde bulundurarak meydana gelebilecek deformasyon ifadesi, üzerindeki yükten dolayı, cismi etkileyen gerilme cinsinden ( akışkan basıncı esas alınarak);

$$P = \frac{\delta_p}{H} \cdot E \quad (4)$$

olarak yazılabilmektedir. Bu eşitlik sistem basıncı  $P_s$  olmak üzere deformasyon miktarı cinsinden yeniden yazılırsa ;

$$\delta_s = \frac{P_s \cdot H}{E} \quad (5)$$

şeklini alır. Cisim üzerine etki eden basınç dolayısıyla  $\delta_p$  miktarı değişebilecektir. Deformasyon parametresi boyutsuz olarak;

$$\bar{\delta}_s = \frac{P_s \cdot H}{E \cdot h_0} \quad (6)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada  $\bar{\delta}_s = \delta_s/h_0$  olarak tarif edilen boyutsuz deformasyon ve E karbon elemanın elastisite modülüdür. Benzer eşitlik sistemin herhangi bir yerindeki basınç cinsinden de yazılabilir ( $\bar{\delta}_p$ ).

### 2.3. Akışkan Kaçağı

Radial aralıktaki akış denklemi tasarım ve boyutsuz deformasyon parametreleriyle aşağıdaki şekilde yazılabilir;

$$48.H.\eta.q_p.x = E.h_0^4.[(1+\bar{\delta}_s)^4 - (1+\bar{\delta}_p)^4] \quad (7)$$

Burada  $q_p$ , aralık içerisinde herhangi bir  $x$  noktasındaki birim akış debi ifadesidir.

Sistem  $x = L$  noktasında atmosfere açıldığından dolayı bu noktaya atmosfer basıncı etki edecek yağ filminin aralıkta geliştirdiği basınç ise  $p = 0$  değerini alacaktır. Bu sınır şartlarının (7) denkleminde birlikte değerlendirilmesiyle elde edilen ,

$$q_L = \frac{E h_0^4}{48 \eta H L} [(1 + \bar{\delta}_s)^4 - 1] \quad (8)$$

ifadesi sonlu genişlik  $B$  ile boyutsuz olarak ;

$$\bar{Q}_L = \frac{1}{48 \bar{H} \bar{L}} [(1 + \bar{\delta}_s)^4 - 1] \quad (9)$$

genel akışkan kaçağını ( debi ) veren ifade sekline dönüştürülür. Burada  $\bar{Q}_L = Q_L \eta / E h_0^3$ ,  $\bar{H} = H/h_0$  ve  $\bar{L} = L/B$  olarak tarif edilen boyutsuz büyüklüklere dir.

Bu tip sistemlerde boyutsuz deformasyon ve boyutsuz akış (sızıntı) arasındaki ilişki yanında deformasyonlu ve deformasyonsuz iki durum için sözkonusu olan akış miktarları oranları da yeni bir boyutsuz akış karakteristiği tarif edecektir. Bu amaçla (8) denkleminin (1) denkleminde oranıyla ;

$$C_Q = \frac{q_L}{q_1} = \frac{1}{4.\bar{\delta}_s} [(1+\bar{\delta}_s)^4 - 1] \quad (10)$$

elde edilir. Bu ifade boyutsuz deformasyon ile sistemin akış karakteristiği arasındaki ilişkiyi doğrudan doğruya verebilmektedir.

Daha önce bahsedildiği üzere sistemde oluşabilecek küçük bir deformasyon sistem performansına etki eden yağ

film kalınlığının değişimine neden olacaktır. Yapılan kabuller çerçevesinde bu değişim , radyal uzunluk boyunca gerçekleşeceğinden deformasyonun varolması halindeki genel film kalınlığı boyutsuz olarak;

$$\bar{h} = [(1 + \bar{\delta}_g)^4 - (\bar{x} (1 + \bar{\delta}_g)^4 - \bar{x})]^{0.25} \quad (11)$$

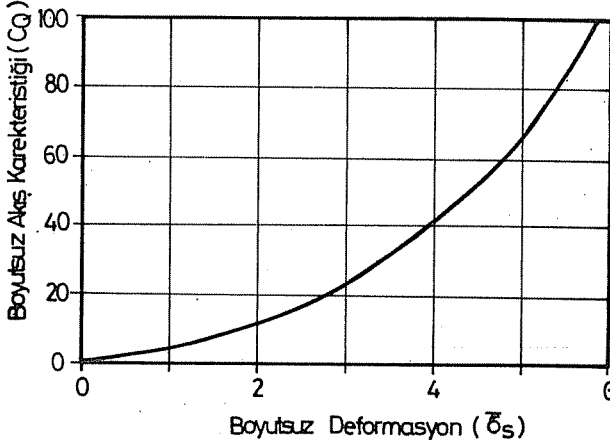
herhangi bir radyal pozisyonda elde edilebilir. Burada  $\bar{x} = x/L$  boyutsuz radyal koordinat,  $\bar{h} = h / h_0$  deformasyonun varolması halindeki boyutsuz film kalınlığıdır. Bu ifade ile herhangi bir radyal pozisyonda değişik boyutsuz maksimum deformasyon parametresi  $\bar{\delta}_g$ 'ye karşılık gelen yağ filmi kalınlığını tahmin etmek mümkündür.

### 3. TEORİK NETİCELER VE İRDELEME

Yukarıda izah edilen teorik analiz veya model esas olmak üzere bu tip sızdırmazlık elemanlarının dinamik davranışları araştırılmıştır. Sistemin hidrodinamik ve hidrostatik yük dengesi başta olmak üzere performansının arzu edilen şekilde gerçekleşebilmesi için başka bir ifade ile sistem çalışırken arzu edilmeyen akışkan kaçağının olmadığı ve metal-metal temasını önleyecek hidrodinamik yağ filminin teşekkül edebildiği haller için sistem teorik olarak analiz edilmiştir. Bu amaçla aşağıdaki teorik eğriler elde edilip tartışılmıştır.

Şekil-5, Akış karakteristiği  $C_Q$ 'nun boyutsuz deformasyon parametresi ile değişimini vermektedir. Şekilden de görüleceği gibi deformasyonun olmaması halinde herhangi bir akış karakteristiği gözlenmeyecektir. Bu durum teorik analizde deformasyonun var olması hali sadece dikkate alındığı için mantıklı görülmektedir. Deformasyonun artması ile akış karakteristiği hızlı bir artış göstermektedir. Bu artış, deformasyon nedeniyle yağ filminin artması dolayısıyla da o aralıktan geçen akışkan debisinin artmasından kaynaklanmaktadır. Şekilde boyutsuz deformasyon değerleri 0 - 6 arasında alınmıştır. Akış karakteristiğinin ani değişim gösterdiği deformasyon

miktarına kadar ( $\bar{\delta}_s = 2$ ) akışkan kaçağı nispeten az olacağından boyutlandırma yapılırken bu durumun dikkate alınması gerekir.



Sekil - 5 - Boyutsuz Akış Karakteristiği ile Deformasyon Arasındaki İlişki

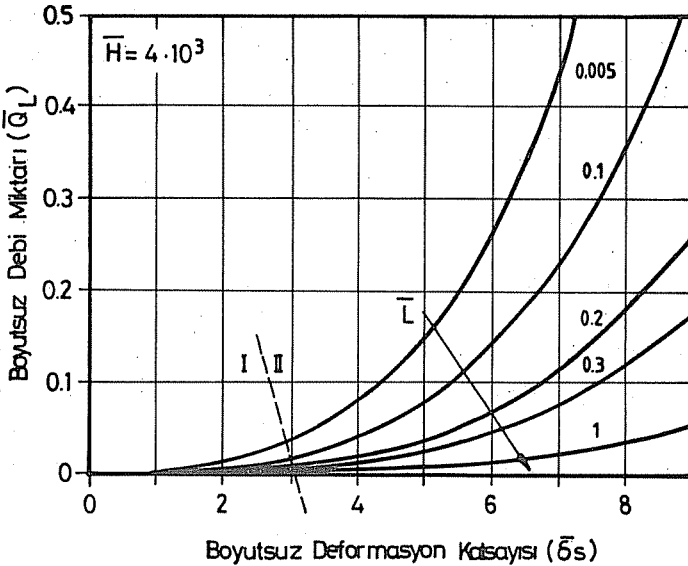
Yukarıda izah edilen akış karakteristiğinden de anlaşılacağı üzere deformasyon miktarının artışı doğal olarak akışkan kaçağının artışına neden olacaktır. Bu kaçak ( debi ) miktarının mümkün merteye küçük tutulması hedefdir. Deformasyon parametresinin yanında deformasyona uğrayabilecek olan elemanın temel boyutları da bu kaçak miktarına etki edecektir. Bu üç parametrenin etkileri şekil-6 ve 7 de açıkça görülebilmektedir. Her iki şekilden de görüleceği üzere  $\bar{\delta}_s$  deformasyon miktarının artışı  $\bar{Q}_L$  boyutsuz debi miktarını artırmaktadır. Ancak küçük deformasyon miktarlarında bu çok yavaş olurken, deformasyonun belli bir değerin üzerine çıkması halinde her iki şekilde de akışkan kaçağında hızlı artışlar gözlenmektedir. Bu durum hidrodinamik yatak teorisine uygun bir davranış sergilemektedir.

Sekil-6'da seçilmiş bir  $\bar{H}$  ( deformasyona uğrayabilecek olan elemanın kalınlığı ) değeri için değişik radyal boyutta ( $\bar{L}$ ), boyutsuz debinin ( $\bar{Q}_L$ ) deformasyon parametresi ile değişimi özetlenmiştir. Şekilde açıkça görüleceği

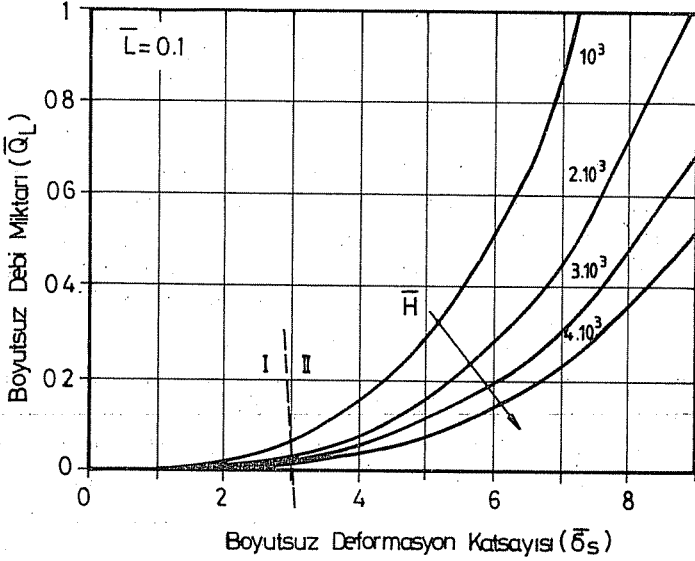


üzere  $\bar{L}$ 'nin artışı debi miktarını azaltmaktadır. Bu azalış küçük  $\bar{L}$  değerlerinde daha açıkça gözlenebilmektedir.

Teorik ve fiziksel olarak akışın katedeceği radyal uzunluk azaldıkça kaçak miktarı da artacaktır. Tasarım açısından en uygun deformasyon miktarı ve geometrik büyüklüklerin tespit edilmesi son derece önemlidir. Deformasyonun 0-3 arasında değerler alması halinde bütün  $\bar{L}$  değerleri için kaçak ihmal edilebilecek seviyededir. Deformasyonun bu değerden daha büyük değerlere çıkması halinde arzu edilmeyen büyük debi değerleri ile karşılaşılacaktır. Şekilde kaçak debi miktarındaki değişim miktarı iki bölgede (I ve II) görülmektedir.  $\bar{L} = 0.1$  iken  $\bar{\delta}_s = 3$  değerinde boyutsuz debi miktarı  $1.3 \cdot 10^{-2}$  değerindedir. Minimum film kalınlığının  $5 \mu\text{m}$ , dinamik viskozitenin  $0.04 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ,  $B = 20 \text{ cm}$ ,  $L = 2 \text{ cm}$  ve elastisite modülü  $E$ 'nin  $1.4 \cdot 10^9 \text{ kg/m}^2$  olduğu bir durumda bu noktadaki gerçek debi miktarı  $Q_L = 5.8 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$  olacaktır. Aynı boyutsuz  $L$  değerinde,  $\bar{\delta}_s$  7'ye kadar artırıldığında akışkan kaçağı miktarı yaklaşık 16 katına çıkmaktadır. Benzer şekilde şekil -7 'de  $\bar{\delta}_s = 3$  değerinin altındaki değerlerin kaçak miktarını önemli ölçüde etkilemediği; ancak  $\bar{\delta}_s$ 'nin 3'den büyük değerlerinde  $\bar{H}$ 'deki küçük bir azalmanın kaçak debi miktarını artırdığı görülmüştür.

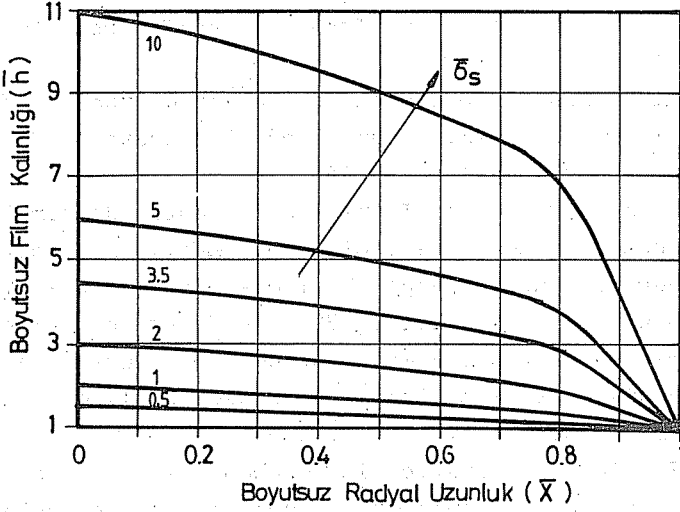


Şekil -6 Sabit  $\bar{H}$  ve Değişen  $\bar{L}$  Değerlerinde Boyutsuz Debi ve Deformasyon İlişkisi



Şekil -7 Sabit  $\bar{L}$  ve Değişen  $\bar{H}$  değerlerinde Boyutsuz Debi ve Deformasyon ilişkisi

Tasarım açısından yağ filmi içerisinde radyal pozisyonda her noktadaki basınç, deformasyon, dolayısıyla yağ film kalınlığı değişimi önemli olmaktadır. Değişik boyutsuz deformasyon parametresi için herhangi bir radyal pozisyonda yağ film kalınlığının tahmin edilmesi son derece kolaylıklar sağlayacaktır. Şekil-8 bu amaçla elde edilmiştir. Şekilden boyutsuz radyal koordinat 0'dan 1'e kadar değiştirilmiş, boyutsuz deformasyon parametresi 0-10 arasında alınmış ve bu iki parametrenin film kalınlığı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu şekildeki eğriler Şekil-4 konfigürasyonu ve koordinat sisteminin dikkate alınmasıyla elde edilmiştir.  $\bar{x} = 1$ 'de bütün deformasyon parametreleri için  $\bar{h}$  film kalınlığı 1'e ulaşmaktadır, ( $h = h_0$ ).  $\bar{\delta}_S$ 'nin artışı  $x$  radyal koordinatın başlangıcında  $h$ 'nin artışına neden olmakta ve radyal koordinatın artışıyla beklendiği gibi azalma eğilimi görülmektedir.



Şekil - 8 - Film Kalınlığının Radyal Uzunlukla Değişimi

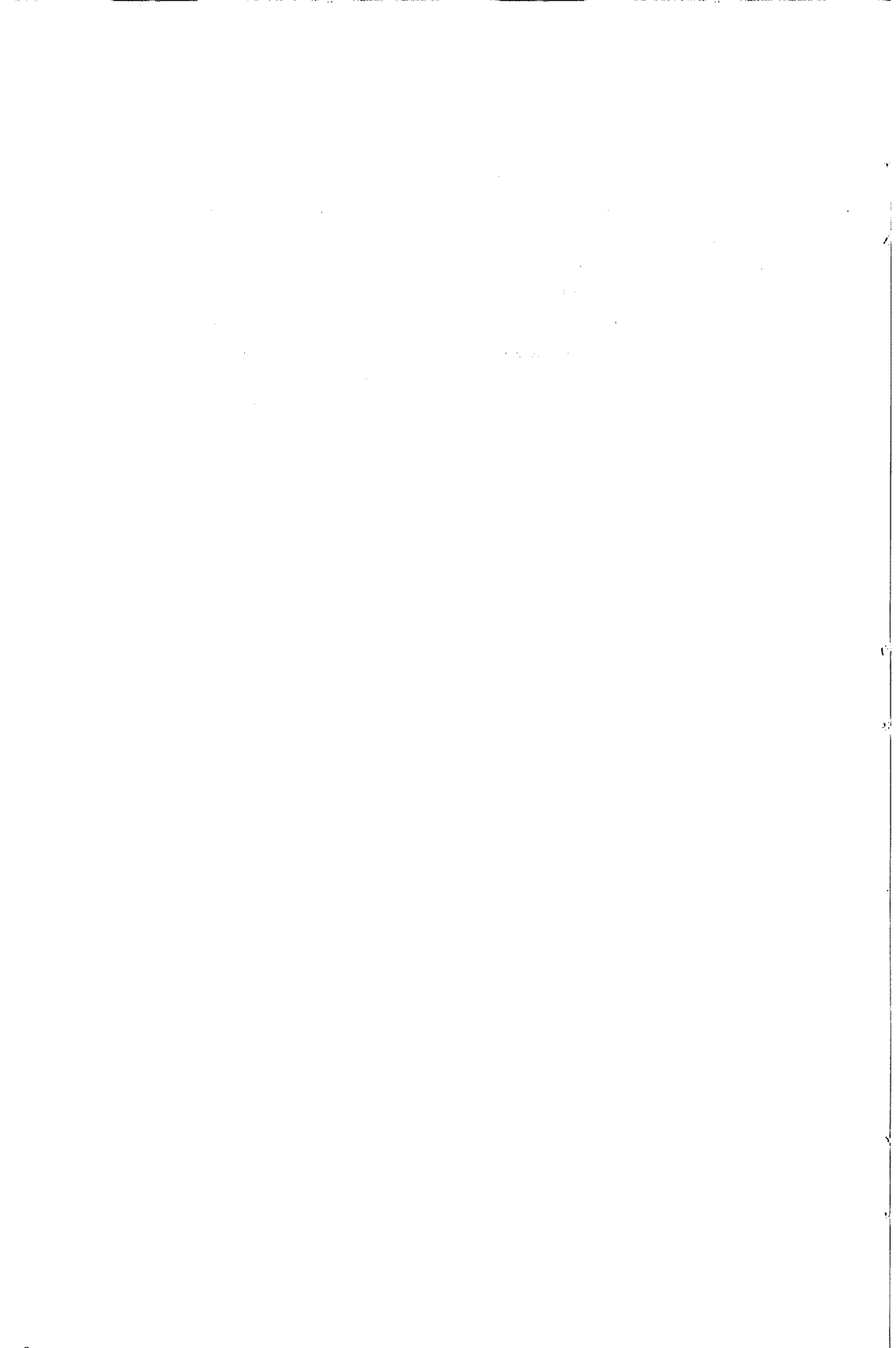
#### 4. SONUC

Radyal yüzey sızdırmazlık elemanlarının elastik deformasyon neticesi yük taşıyıcı akışkan filmini teşekkül ettirdiği görülmüştür. Yapılan teorik analizden deformasyonun bir taraftan yük taşımaya yardımcı olurken diğer taraftan da arzu edilmeyen akışkan kaçağını arttırdığı gözlemlendiğinden minimum film kalınlığına bağlı olarak  $\bar{\delta} = \delta/h_0$  boyutsuz deformasyon parametresinin 2-4 arasında değerler almasının uygun olacağı sonucuna varılmıştır. Tarif edilen boyutsuz parametrelerle geliştirilen teorik model, bu tip sızdırmazlık elemanlarının tasarım ilkelerinin belirlenmesine ve dinamik çalışma koşullarında performansının tahmin edilmesine yardımcı olmaktadır.

## 5. KAYNAKLAR

- [1] R.B. Snapp, Theoretical analysis of face - type seals with varying Radial Face Profiles, ASME, 64 - WA/LUB-6
- [2] H.J.Sneck, The misaligned, eccentric face seal, Journal of Lubrication Tecnology, Trans. of ASME, (Oct. 1969), 695 - 703
- [3] I. Etsion, Radial Forces in a misaligned radial face seal, Trans. of ASME, Journal of Lubrication Tech., 101 ( January 1979 ), 81 - 85
- [4] C. Ettles, A. Cameron, Thermal and elastic distortions in thrust bearings, Inst. of Mech. Eng., Lubrication and wear convention, Paper 7, ( May 1963 ), 60 - 71
- [5] B.S. Nau, D.E. Turnbull, Some effects of elastic deformation on the characteristics of balanced radial face seals. Ist. Int. Conf. on fluid sealing, BHRA, Paper D3 Cranfield, ( 1961 ), 1 - 7
- [6] J.A. Findlay, Cavitation in mechanical face seals, Trans. of ASME, Journal of Lubrication Technology, ( April 1968 ), 356 - 364
- [7] E. Koç, Elesto-hidrokinamik yağlama ve kaymalı aksenal yatak tasarımı, Mühendis ve Makina Dergisi, 29, 345 ( Ekim 1988 ), 12 - 16
- [8] A. Cameron, The viscosity wedge, Trans. of ASME, 1( Oct. 1958 ), 248 - 253
- [9] W.B. Hunter, O.C. Zienkiewicz, Effect of temperature variation across the lubricant film in the theory of hydrodynamic lubrication, Journal of Mech.Eng. Science, 1 ( 1960 ), 52 - 58
- [10] K.Brockwell, C. Ettles, M. Stokes, A design method for radially grooved thrust washers, Tribologi Conv. Paper 12, ( 1970 ), 82 - 92
- [11] I.G. Currie, C.A. Brockley, F.A. Dvorak, Thermal wedge lubrication of parallel surface thrust bearings, Journal of Basic Eng., Trans. of ASME, (1965), 823-830
- [12] L.P. Ludwig, Face - seal lubrication I, proposed and published models, NASA TND - 8101 ( 1976 ), 1 - 36

- [13] E. Koc, Eksenel kaymalı yatakların ve mekanik radyal keçelerin hidrodinamik analizi, Doğa Bilim Dergisi, B, 10, 1( 1986 ), 5 - 13
- [14] E.Koc, Mekanik radyal yüzey sızdırmazlık elemanlarının bilgisayar yardımlı analiz ve tasarımı, Mühendis ve Makina Dergisi, 26, 309 ( Ekim 1985 ), 28 - 32
- [15] D.F.Denny, Some measurements of fluid pressure between plane parellel thrust surfaces with special reference to radial face seals,Wear, Vol.4,64-83, 1961



MEKANİK RADYAL SIZDIRMAZLIK ELEMANLARININ HIDRODİNAMİK  
ANALIZI II : YÜK TAŞIMA KAPASİTESİ VE RİJİTLİK

Erdem KOÇ (\*)

Emel Ceyhan ÇULHA (\*)

ÖZET

Bu çalışmada, mekanik radyal sızdırmazlık elemanlarının tasarım ilkeleri araştırılıp yük taşıma kapasitesi ve yağ filminden kaynaklanan sistem rijitliği incelenmiştir. Hidrodinamik denge koşulları irdelenip boyutsuz parametreler tarif edilerek sistem performansı üzerinde durulmuştur. Arzu edilen sızdırmazlığı temin edebilecek geometrik büyüklüklerin tahmin edebildiği bir teorik model geliştirilmiştir. Yağ filmi rijitliği ile frekans karakteristiği de incelenmiştir.

HYDRODYNAMIC ANALYSIS OF MECHANICAL RADIAL FACE SEALS  
II : LOAD CARRYING CAPACITY AND RIGIDITY

ABSTRACT

In this study, with the design principles being established, the load carrying capacity and fluid film rigidity of face seals have been investigated. By discussing the hydraulic balance conditions, the system performance has been examined with newly defined non-dimensional parameters. A theoretical model being capable of predicting the geometrical parameters to satisfy the real sealing function has been developed. Fluid film rigidity and frequency characteristics have also been analysed.

---

(\*) Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Makina Müh. Bölümü

## 1. GİRİŞ

Mekanik radyal yüzey sızdırmazlık elemanlarının dinamik çalışma koşullarında yük taşıyıcı akışkan filmi teşekkül ettirebilmesi için, hidrodinamik basınç oluşturuvcu mekanizmalardan eksen kaçıklığı başta olmak üzere yüzeylerin elastik deformasyona uğraması gerektiği yapılan araştırmalarla anlaşılmıştır [1,2,3].

Çalışmaların birinci kısmında [1] bu tip sistemlerde geometrik büyüklükler cinsinden akışkan kaçağının nasıl tahmin edilebildiği anlatılmıştır. Yine o çalışmada mekanik yüzey sızdırmazlık elemanlarının genel çalışma prensipleri ve hidrodinamik basınç oluşturan temel mekanizmalar özetlenmiş ve elastik deformasyona uğramış karbon yüzey boyunca akışkan sızmasının değişimi incelenmiştir. Değişik geometrik büyüklüklerle sistemin dinamik çalışma koşullarında performansı tahmin edilebilmektedir.

Gerek böyle elemanlarda gerekse aksenal hidrodinamik yataklarda sistem performansını belirleyen önemli parametrelerden biri de yük taşıma kapasitesidir. Boyutsuz çalışmanın getirdiği faydalar dikkate alınarak burada, deformasyonun var olması hali için boyutsuz basınç ve yük taşıma kapasitesi incelenmiştir. Hidrostatik ve hidrodinamik denge için, yağ filminden oluşan yüzeyleri ayırma yükü ile hareketli elemanı sabit olana kapamaya çalışan yükün değişik çalışma koşullarında tahmin edilmesi arzu edilir. Bu nedenle bu çalışmada bu tür analize girilip değişik geometrik büyüklüklerle sistemin performansı tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Yük taşımının var olması durumlarında yağ filminin rijitliği ve frekans karakteristiği de önemli olmaktadır. Bu kısımda da boyutsuz rijitlik parametresinin boyutsuz deformasyonla değişimi başta olmak üzere, boyutsuz frekansın değişimi de teorik olarak analiz edilmiştir.



## 2. YÜK TAŞIMA KAPASİTESİ

Gerek aksenal kaymalı yataklarda gerekse mekanik sızdırmazlık elemanlarında sistem performansına etki eden önemli parametrelerden birisi de yük taşıma kapasitesidir. Ancak incelenen sızdırmazlık elemanında daha önce izah edildiği gibi [1] aralıkta oluşan yağ filminden gelen yük ile hareketli elemanı sabit olan elemene iten kapama kuvveti denge için önemli olmaktadır. Bu amaçla bahsedilen iki kuvvetin oranı sistem tasarımı için vazgeçilmez bir büyüklük olduğundan ;

$$C_W = \frac{P_s l}{\int_0^L p \, dx} = \frac{2 \bar{\xi}_s (1 + 2\bar{\xi}_s + (3/2)\bar{\xi}_s^2 + (2/5)\bar{\xi}_s^3)}{[(1+\bar{\xi}_s)^4 - 1]} \quad (1)$$

eşitliği ile tarif edilen  $C_W$  katsayısı boyutsuz yük karakteristik katsayısı olarak elde edilmektedir.

Radyal aralık uzunluğu boyunca, yağ filmi üzerine gelen yük değişen bir dağılım göstereceğinden; yağın aralığın her noktasında taşıyacağı yük de değişecektir. Eğer film tarafından geliştirilen kuvvet  $W$  ise,

$$W = C_W P_s L \quad (2)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada  $P_s$  sistem basıncı,  $L$  aralığın radyal uzunluğu,  $C_W$  sistemin yük karakteristigidir. Yeni boyutsuz büyüklükler tarif edilerek bu yük taşıma kapasitesi boyutsuz olarak;

$$\bar{W} = C_W \bar{P}_s \bar{B}_L^3 \quad (3)$$

şeklinde elde edilir. Burada boyutsuz yük,

$$\bar{W} = W \cdot \frac{h_0^2}{\eta \cdot \omega L^4} \quad (4)$$

olarak tarif edilmektedir.  $\bar{P}_s = P_s h_0^2 / \eta \omega B^2$  boyutsuz sistem basıncı ve  $\bar{B}_L = B/L$  boyutsuz sonlu genişliktir. Daha pratik olması açısından  $\bar{P}_s$  ve  $\bar{W}$  ' da aynı büyüklükler kullanıldığında boyutsuz yük ifadesi ;

$$\bar{W} = C_W \bar{P}_s \bar{B}_L \quad (5)$$

şeklinde elde edilir. Burada  $\bar{P}_s = P_s h_0^2 / \eta \omega L^2$  olarak değerlendirilmiştir. Yukarıdaki ifadelerde kullanılan büyüklüklerden  $h_0$  minimum film kalınlığı,  $\eta$  yağın dinamik viskozitesi,  $\omega$  hareketli elemanın açısal hızıdır.

### 3. YAĞ FILMI RİJİTLİĞİ

Aralıktaki yağ (akışkan) filmi, üzerine gelen yüke karşı direnç göstermeye çalışacaktır. Bu direnç yağın viskozitesi ile doğrudan ilgilidir. Bazı mekanizmaların çok ince yağ filmi ile « sınır tabaka yağlama » prensibine göre çalışması istenebilir. Ancak, çalışma basıncının büyük değerlerinde aralıktaki yağın, üzerine gelen yükün bir kısmını taşıyacak dirence sahip özellikte olması arzu edilir. Yağ bu yükü karşılayabilmek için bir iç basınç alanı oluşturacaktır. Genelde basıncın artması ile viskozitenin de artışı düşünülürse çalışma basıncına uygun yağ seçimine dikkat edilmelidir.

Sistemin yukarıda izah edilen yük taşıma kapasitesinin aralıktaki film kalınlığı ile değişimi yağın rijitlik katsayısını verecektir;

$$k = - \frac{\partial W}{\partial h_0} \quad (6)$$

Gerekli denklemlerde türev işlemleri alınıp (6) değerlendirildiğinde; boyutsuz yağ filmi rijitlik katsayısı;

$$\bar{k} = \frac{\bar{\xi}_s^2}{5} \left[ \frac{20 + 40\bar{\xi}_s + 28\bar{\xi}_s^2 + 8\bar{\xi}_s^3 + \bar{\xi}_s^4}{(4 + 6\bar{\xi}_s + 4\bar{\xi}_s^2 + \bar{\xi}_s^3)} \right] \quad (7)$$

şeklını alır. Burada  $\bar{k} = k H / E L B$  'dır.

Mekanik enerji biriktirici elemanlardan olan bir yayda kütle ve yaylanma rijitliği ; o elemanda tasarım için önemli olan sistem frekansını belirleyici faktörlerdir. Benzer davranış gösteren basınçlı, viskoz akışkanda da frekans ifadesi, kütle ve yaylanma katsayısı k değeriendirilerek ;

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\bar{k} g E L B}{5 G H}} \quad (8)$$

şeklinde yazılabilir. Burada G, dönen sızdırmazlık elemanının ağırlığı g yerçekimi ivmesi, H sabit elemanın uzunluğu, B sızdırmazlık elemanının genişliği ve E karbon elemanın elastisite modülüdür.

(8) ifadesi akışkan filminin titreşim frekansının sızdırmazlık sisteminin L,G,H,B gibi tasarım parametreleriyle ilişkisini gösterdiğinden önem taşımaktadır. Boyutsuz çalışmanın önemi düşünülerek boyutsuz frekans ifadesi tarif edilecek olursa ;

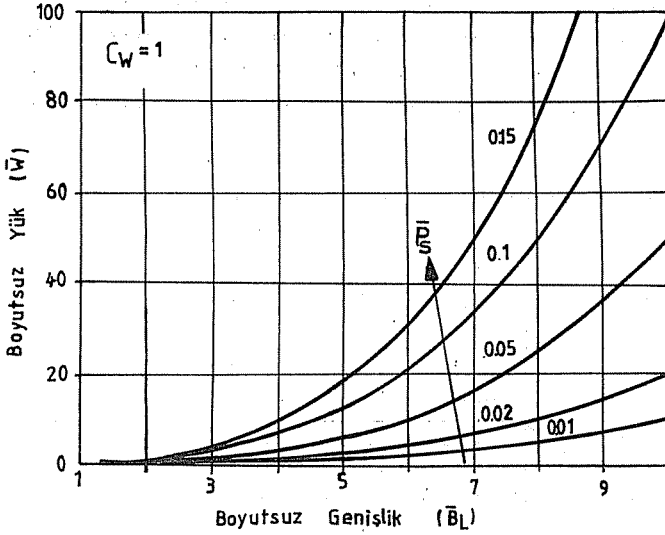
$$\bar{f} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\bar{k} \bar{B}_H / 5} \quad (9)$$

şeklını alır. Burada;

$$\bar{f} = f \cdot \frac{G^{0.5}}{g^{0.5} L^{0.5} E^{0.5}} \quad (10)$$

olarak tarif edilen boyutsuz frekans ve  $\bar{B}_H = B/H$  şeklinde tarif edilen boyutsuz sonlu genişlik ifadesidir.

Yük katsayısı ( $C_W$ )'nın 1 değerini alması tam denge halini gösterdiğinden bu şart sağlandığında diğer parametrelerin sistem performansına etkisi de incelenmiştir. Şekil-3 değişik sistem basınçlarında boyutsuz genişlik ( $\bar{B}_L$ ) ile boyutsuz ayırma yükü ( $\bar{W}$ )'nün değişimini vermektedir. Şekilden açıkça görüleceği üzere boyutsuz genişliğin belli bir değere kadar artışı ( $\bar{B}_L = 3$ ) yük taşıma kapasitesinde önemli bir değişiklik yapmazken bu değerden sonra yük taşımada hızlı bir artış gözlenmektedir. Bu nedenle sızdırmazlık elemanının genişliği (kavitasyonsuz akışkan filmi alanının artması hali) hidrodinamik basınç artışına neden olacağından bütün sistem basınçlarında yük taşıma kapasitesinde artış kaçınılmaz olacaktır.

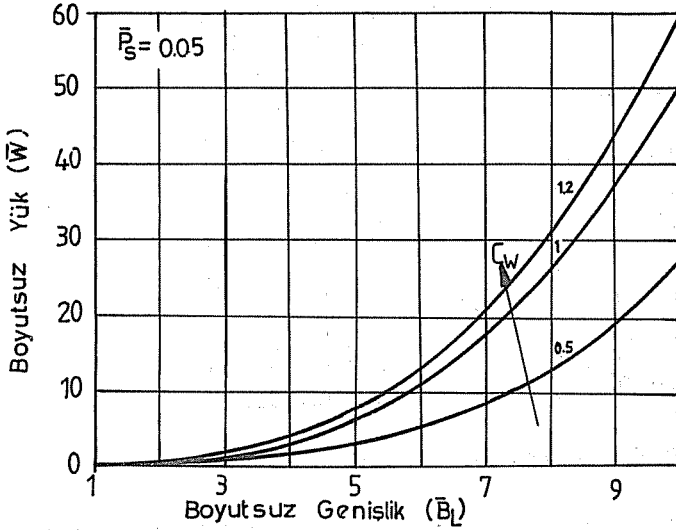


Şekil-3 Boyutsuz yük ve genişlik ilişkisi

Hidrolik denge durumunu daha açık görebilmek için şekil-4 incelendiğinde boyutsuz ayırma yükü ( $\bar{W}$ )'nde  $C_W \geq 1$  değerlerinde gereğinden fazla artış gözlenebilmektedir. Bu şekilde, boyutsuz genişlik ( $\bar{B}_L$ ) esas olmak üzere seçilen bir sistem basıncı için  $\bar{W}$ 'nin yük katsayısı ile

değişimi görülmektedir. Dinamik viskozite  $\eta = 0.04$  Pa-s, hareketli elemanın açısal hızı  $\omega = 10^5$  r/sn, minimum film kalınlığı  $h_0 = 5\mu\text{m}$  için grafikte  $C_w = 1$  ve  $\bar{B}_L = 3$  iken  $\bar{W} = 1.35$  boyutsuz değeri ve buradan da  $W = 3,6 \cdot 10^4$  N gerçek yük miktarı bulunur.  $\bar{B}_L = 8$  değerine çıkarıldığında yük miktarı yaklaşık 19 katına çıkarak  $68,6 \cdot 10^4$  N değerine ulaşmaktadır. Yük katsayısı ( $C_w$ )nın bilinmesi tahmin edilen bir çalışma durumu için hareketli elemanın denge şartının sağlanmasında 1 değerinin tahmin edilmesine yardımcı olmaktadır.

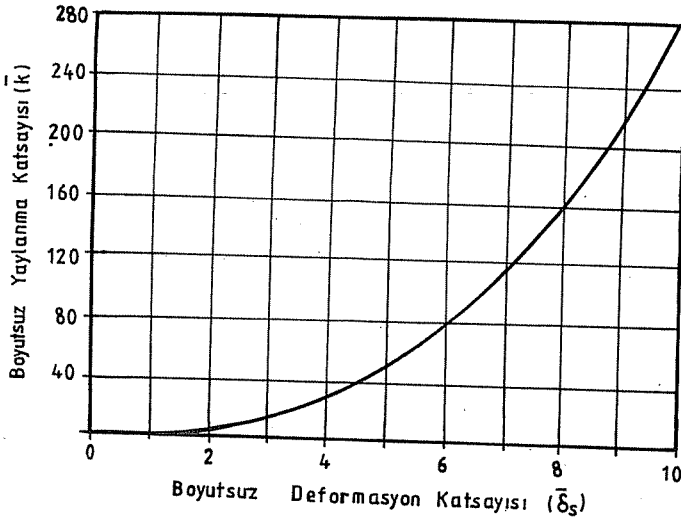
P



Şekil-4 Boyutsuz yük ve genişlik ilişkisi

Bu çalışmada yük taşıma kapasitesi, deformasyon ve çalışma parametreleri yanında, sistem dinamik olarak çalışırken yaylanma rijitliği ve frekans karakteristiğinin de bilinen faydalarından dolayı, deformasyonla rijitlik ve frekans karakteristiği de incelenmiştir. Deformasyon-rijitlik ilişkisi çok önemli olduğundan değişik geometrik büyüklükler ve çalışma parametreleri etkisinde sistemin rijitlik durumu araştırılmıştır.

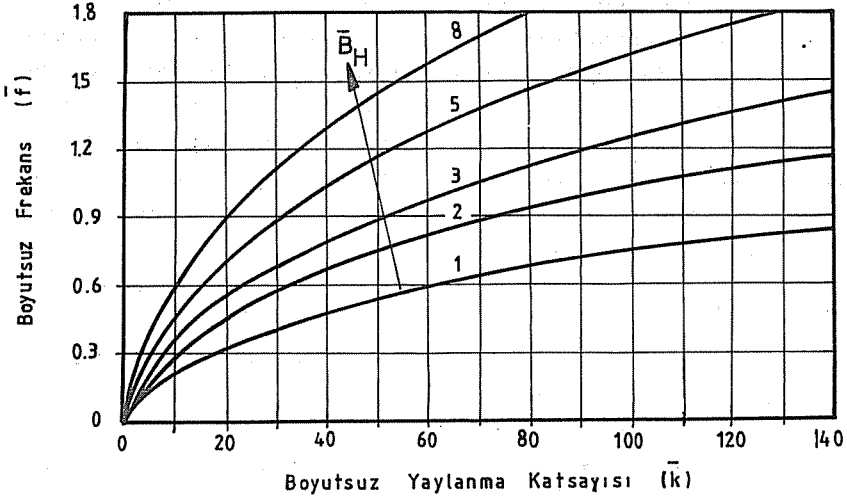
Şekil-5 boyutsuz deformasyon ( $\bar{\delta}_s$ ) ile yaylanma katsayısı ( $\bar{k}$ )'nin değişimini vermektedir. Beklendiği gibi deformasyonun artışı yaylanma katsayısını artırmaktadır.  $\bar{\delta}_s = 3$  değerine kadar boyutsuz yaylanma katsayısındaki artış pek fazla olmamakta, bu değerden sonra ise hızlı bir artış gözlenmektedir.  $\bar{k}$  değerinin büyümesi aralıktaki film kalınlığında istenmeyen bir azalmaya neden olabilecek, dolayısıyla sistemin hidrodinamik dengesinin bozulma tehlikesi ortaya çıkacaktır.



Şekil-5 Boyutsuz yaylanma katsayısı ve deformasyon ilişkisi

Yağın rijitlik katsayısının, değişik boyutsuz genişlik değerleri için frekansla değişimi Şekil-6 'da görülebilir. Burada boyutsuz  $\bar{k}$  değerleri 0 - 140 arasında değişirken, boyutsuz genişlik değerleri ise 1 - 8 arasında alınmıştır. Şekilden rijitlik katsayısı arttıkça bütün  $\bar{B}_H$  değerlerinde frekans değerlerinin artan bir değişim gösterdiği gözlenebilmektedir. Deformasyonun olmaması halinde beklendiği gibi rijitlik katsayısı sıfır olacağından bütün genişlik değerleri için frekans da sıfır olacaktır. Boyutsuz deformasyon katsayısı ( $\bar{\delta}_s$ ) için tasarım değeri yaklaşık 4 olarak alındığında, buna tekabül eden boyutsuz yaylanma

katsayısı  $\bar{k} = 28.6$  olmaktadır. Şekilden frekansın hızlı artış gösterdiği eğri grupları bu sınır değeri doğrulamaktadır. Başka bir ifadeyle boyutsuz yaylanma katsayısının yukarıdaki sınır değerden büyük değerler alması, frekansta yarattığı değişimin fazla olmaması nedeniyle istenen bir durum olmadığı da gözlenebilmektedir. Hareketli elemanın genişliği  $B = 20$  cm, aralığın radyal uzunluğu  $L=2$  cm, elastik elemanın aksenal genişliği  $H = 4$  cm elastisite modülünün  $E = 1.4 \cdot 10^4$  kg/m<sup>2</sup> olduğu durumda  $\bar{\xi}_s = 4$  değerine karşılık gelen  $\bar{k} = 28.6$  boyutsuz rijitlik katsayısı değerinde boyutsuz frekans miktarı 0.85 ve buradan gerçek frekans miktarının  $f = 1.6 \cdot 10^4$  1/s olduğu görülmektedir.  $k = 20$ 'den büyük değerler frekansta giderek yavaşlayan bir artışa neden olduğundan tasarım esnasında boyutsuz rijitlik katsayısının bu değeri bir sınır olarak kabul edilebilir.



Şekil-6 Boyutsuz yaylanma katsayısı ve frekans ilişkisi

## 5. SONUÇ

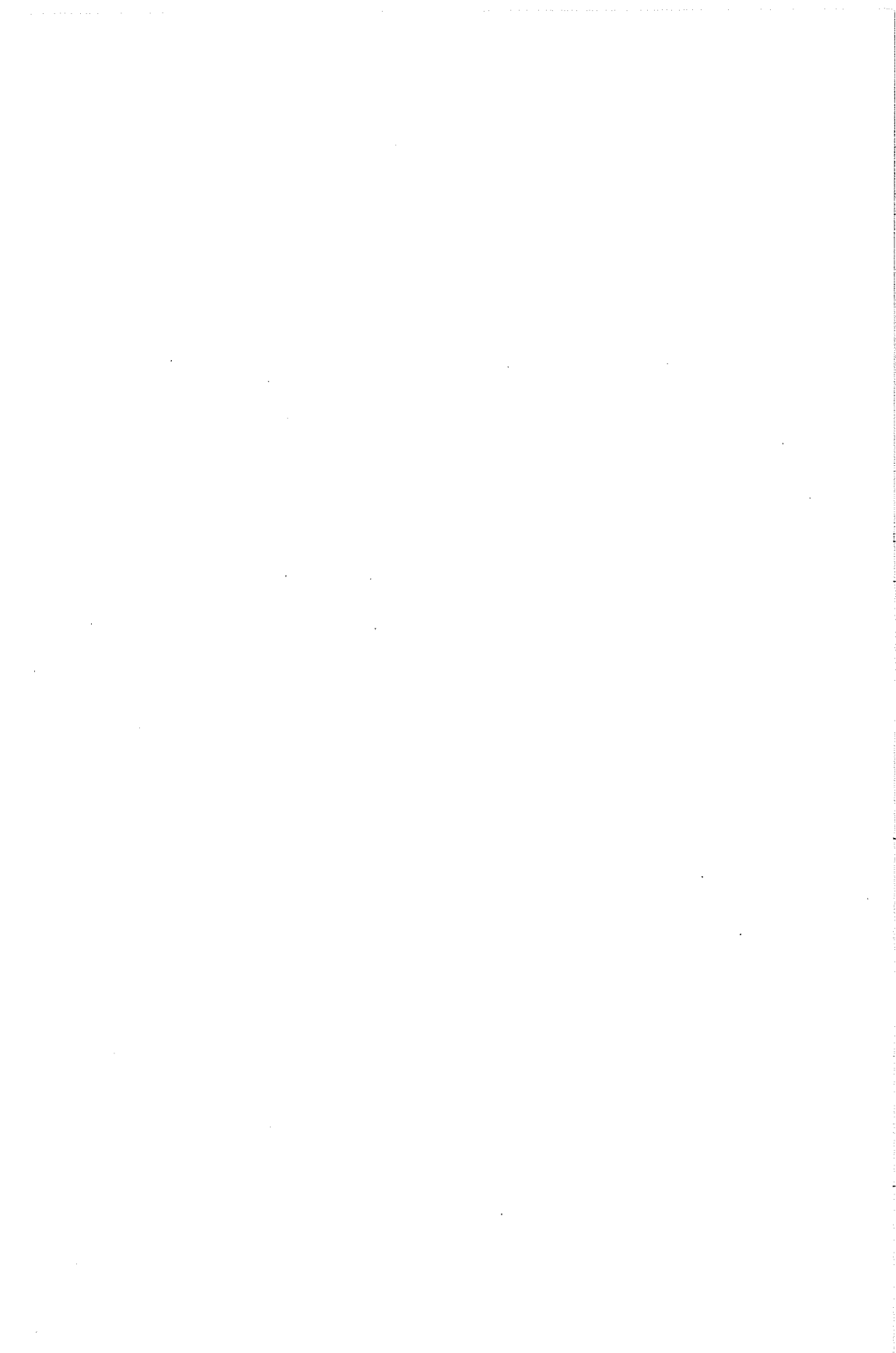
Mekanik radyal yüzey sızdırmazlık elemanlarında sızdırmaz yüzeyler üzerinde meydana gelebilecek elastik

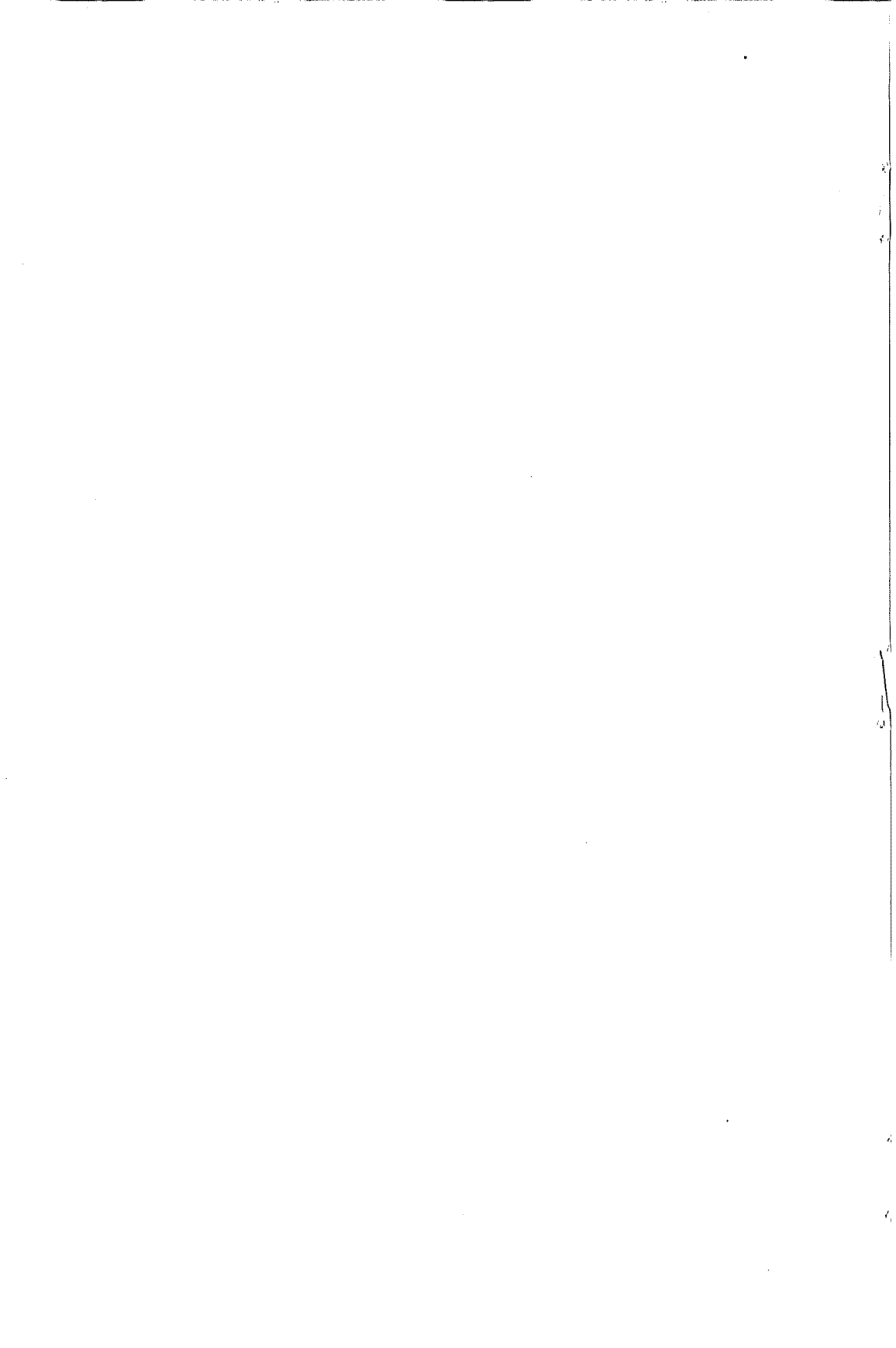
deformasyon sonucunda aralıktaki yağ filmi hidrodinamik bir basınç alanı oluşturacaktır. Bu basınç alanının, yağ filmi üzerine gelen yükün bir kısmını taşıma kapasitesine sahip olduğu bilinen bir gerçektir. Bu çalışma sonucunda deformasyon miktarının ve sistem parametrelerinin yağın bu özelliğini önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Yağın üzerine gelen yükü taşıyabilmesi için izin verilebilecek boyutsuz deformasyon miktarının  $\bar{\xi}_s = 4$  değeri üzerine çıkılmaması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu tip sızdırmazlık elemanlarındaki yük dengesinde önemli bir parametre durumunda olan  $C_W$ 'nin  $0.5 \leq C_W \leq 0.8$  sınırları arasında değiştiği gözlenmiştir. Bu tip elemanlarda kapama kuvvetinin ve sistem dengesinin sağlanmasında önemli bir parametre durumunda olan  $l$  boyutunun tahmin edilip tasarlanabilmesi mümkün olabilmektedir. Ayrıca metal-metal temasının olmadığı tam hidrodinamik yağlama rejim halinin gerçekleşebilmesi için, yağ filminde kavitasyonsuz durumun da ortaya çıkabileceği uygun deformasyon miktarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu uygun deformasyonun maksimum  $\bar{\xi}_s = 4$  civarında olduğu, hem yük taşıma kapasitesi hem de sistem titreşim frekansı incelenirken bulunmuştur. Aralıktaki yağın rijitliği deformasyon parametresine bağlı olarak incelenmiş deformasyon miktarının yine  $\bar{\xi}_s = 4$  değerinin üstünde rijitlik katsayısında arzu edilmeyen bir artışa neden olduğu görülmüştür.

## 6. KAYNAKLAR

- [1] E. Koç, E. C. Çulha, Mekanik radyal sızdırmazlık elemanlarının hidrodinamik analizi I: Elastik deformasyon, Ç. Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi, 5 (1990)
- [2] E. Koç, Investigation into the effects of bearing misalignment on the lubrication of gear end faces - Experimental approach, Tribology International, 22, 6 (Dec. 1989), 395 - 399
- [3] E. Koç, Analytical and experimental investigation into the sealing and lubrication mechanisms of the gear ends in pumps, Wear, 135 (1989), 79 - 94.







## DERGIYE GÖNDERİLECEK MAKALELER İÇİN YAZIM KURALLARI

- 1- Gönderilecek makaleler, Mühendislik Bilimleriyle ilgili başka bir yerde yayınlanmamış orijinal bir araştırma niteliğinde olmalıdır. Çeviri ve derleme makaleler kabul edilmez. Yazı dili Türkçe'dir.
- 2- Dergi ofset tekniği ile basılacağından, düzeltilmiş kesin makale silintisiz ve normal IBM karakteriyle 1 orijinal ve 2 kopya olarak gönderilmelidir. Makaleler ilk gönderilirken normal bir daktilo makinası ile yazılabilir. Düzeltmeler yazarlar tarafından yapılır.
- 3- Sayfa solda 4 cm, diğer yönlerde 3 cm boşluk bırakılarak doldurulmalı, ilk sayfada başlık üstten 5 cm boşluk bırakılarak yazılmalıdır.
- 4- Makalenin başlığı metne uygun kısa ve açık ifadedeli olmalıdır. Başlık büyük harflerle ve sayfa ortalanarak yazılmalıdır.
- 5- Makale 1.5 satır aralıkla yazılmalıdır. Alt başlıklarla ilk paragraf ve paragraflar arasında 1.5 aralık bırakılmalıdır.
- 6- Yazar ad ve soyadları ünvan belirtilmeden başlığın 1 cm altına sayfa ortalanarak yazılır. Yazar sayısı birden çok ise hepsi alt alta yazılır. Yazar adresi (Üniversite, Fakülte, Bölüm, Şehir) ilk sayfanın altına çizgi çekildikten ve (\*), (\*\*)... v.b.g. işaretlerle yazar adlarının sağ üstünde belirtildikten sonra dipnot olarak verilmelidir.
- 7- Makaleler, çizelge, şekil ve fotoğraflarla birlikte en fazla 15 sayfa olmalıdır.
- 8- Şekil ve grafikler çini mürekkep ile aydınlar kağıdına veya beyaz kuşe kağıda çizilmeli, resimler parlak fotoğraflar kartına siyah-beyaz ve net basılmış olmalı hepsi şekil olarak numaralandırılıp, şekil altı yazılmalı ve metin uygun yere yerleştirilmelidir.
- 9- Çalışma herhangi bir kurumun desteği ile yapılmış ise, bu ilk sayfa altına başlıkta (\*) ile belirtildikten sonra, dipnotu olarak yazılmalıdır.
- 10- Başlıklar 1., 2., .. ve alt başlıklar 1.1., 1.2.,... v.b.g. numaralandırılıp alt başlıklar küçük harflerle, fakat kelime baş harfleri büyük olarak yazılmalıdır.
- 11- Metindeki eşitlikler (1), (2),... v.b.g. numaralandırılmalı ve numaralar sayfanın en sağına yerleştirilmelidir. Daktiloda bulunmayan işaretler, siyah çini mürekkep ve şablon kullanılarak (veya elle çok düzgün bir şekilde) yazılmalıdır.
- 12- Makalede sayfa numaraları üst sağ köşeye kurşun kalem ile yazılmalıdır.
- 13- Makalenin bölümleri aşağıdaki sıraya göre olmalıdır: Türkçe başlık, özet, İngilizce başlık ve özet, Metin, Teşekkür (gerekli ise) ve Kaynaklar.
- 14- Özetler en az 5, en fazla 10 satır olmalıdır. Özeten sonra makalenin İngilizce başlığı büyük harfler ve sayfa ortalanarak yazılıp, bunun altına da "Abstract" İngilizce olarak verilmelidir.

- 15- Metinde mutlaka giriş ve sonuç bölümleri bulunmalıdır. Ara bölümler Materyal ve Metod, Deneysel çalışma, Teorik Esaslar gibi başlıklar veya alt başlıklar şeklinde düzenlenebilir.
- 16- Metin içinde Kaynaklara atıfta bulunulmak istenildiğinde, yazar adı verilerek veya verilmeksizin kaynak numarası köşeli parantez içinde gösterilecektir. Numaralandırma metinde veriliş sırasına göre yapılmalıdır. İki'den fazla yazar sayısı durumunda ilk iki yazar adı yazılıp, türkçe kaynaklarda "ve di" 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 senesi ve en sona da başlangıç ve bitiş sayfaları tire ile ayrılarak verilir. Kaynak bir kitap ise yazar adının ilk harfi, soyadı, kitap adı (kelime başka harfleri büyük), yayinevi, yayın yeri, yayın yılı ve gerekliyse sayfa numarası verilir.

#### ÖRNEK:

- (1) A.E. Bergles, Recent development in convective heat transfer augmentation, Appl, Mechs, Rev., 26 (1973), 675-682,
- (2) P.J. Roache, Computational Fluid Dynamics, Hermose Publisher, Albuquerque, 1976, (Tez, teblig, rapor da makaleye benzer biçimde kaynak olarak verilir.)

- 17- Yazara bir adet dergi ücretsiz olarak gönderilir ve makale için bir telif hakkı ödenmez.
- 18- Dergiye gönderilen yazılar, yayınlansın veya yayınlanmasın iade edilmez.
- 19- Makaleleri yayınlama yetkisi Dergi Yayın Kuruluna aittir.
- 20- Dergiye gönderilecek makaleler aşağıdaki adrese gönderilmelidir:

Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi  
Dergi Yayın Kurulu Başkanlığı  
Balcalı /ADANA