

## URANIUM DİOKSİDİN (U<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) NÜKLEAR REAKTÖRLERDE BİR YAKIT ELEMANI OLARAK ETÜDÜ

Sadık KAKAÇ

Orta Doğu Teknik Üniversitesi

### ÖZET

Bu yazıda Uranium dioksit (UO<sub>2</sub>) nükleer reaktörlerde bir yakıt elemanı olarak tetkik ve reaktörleri ilgilendiren çeşitli hassasları münakaşa ediliyor. Yoğunluğu fazla olan UO<sub>2</sub>, basınçlı su reaktörleri için mükemmel özelliklere sahip olup parazitik nötron yakalama ihtimali çok düşük olup, basınçlı suda korozyon mukavemeti, ve radyasyon hasarına karşı mukavemeti yüksektir. Isıl gerilmeler, yüzey ısı akısı ve yakıt çapının bir fonksiyonu olarak, veriliyor.

Yüzey ısı akısı, muhafaza yüzey sıcaklığı ve yakıt çapına bağlı olarak tayin ediliyor.

UO<sub>2</sub> merkezi ile muhafaza yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı da çapın ve akısının fonksiyonu olarak veriliyor.

### Giriş:

Kontrol edilebilen fisyon reaksiyonları neticesi nükleer (atom) reaktörlerde enerji istihsal edilmektedir. Nükleer reaktörler fisyon reaksiyonlarının pratikte bir tatbik sahasıdır.

1939 senesinde Berlin'de Hahn ve Strassman Uranium atomunu nötron bombardu-manına tabi tuttıkları zaman bazı uranium atomlarının hemen hemen eşit olan iki kısma ayrıldığı ve iki yeni nötronun açığa çıktığını tesbit etmişler ve bu hadiseye fisyon adını vermişlerdir. Hiroshima'nın atom bombası ile tahribinden takriben iki küçük sene önce 2 Kasım 1942 senesinde Dr. Enrico Fermi ve arkadaşları Amerika Birleşik Devletlerinde Chicago'da ilk defa olarak kendi kendine devam ve kontrol edilebilen zincirleme reaksiyonunu bir pil içinde elde etmeğe muvaffak oldular. Bu tarih Amerika Birleşik Devletlerinde atom çağına doğum tarihi olarak kabul edilir. Bu büyük muvaffakiyetinden dolayı Dr. Enrico Fermi bazan atom asrının mimarı diye adlandırılır. Atomun sulhu gayeler yolunda kullanılabilmesi Dr. Fermi'nin bu muvaffakiyetinin bir neticesidir. Nükleer ilmin ilerlemesi ile çeşitli tipte reaktörler imal edilmeye başlanmıştır.

### SYNOPSIS

#### in this article

The Uranium dioxide (UO<sub>2</sub>) as a fuel element in nuclear reactors is investigated. Various properties of it concerning the nuclear reactors are discussed. Dense uranium dioxide has been found to have outstanding properties for use in a pressurized-water reactor. The parasitic neutron-capture cross section is extremely low, and corrosion resistance in pressurized water and resistance to radiation. Thermal stresses are given as a function of the surface heat flux and the slug diameter.

Surface heat flux as a function of the can surface temperature and slug diameter is determined. Temperature difference between UO<sub>2</sub> center and cladding surface as a function of slug diameter and heat flux. Is also given.

Yapılan hesaplar, dünyada mevcut kömür, yağ ve gaz gibi yakıtların, muayyen bir zaman sonra (takriben 2000 senesi) birçok memleketlerde bazılarında hatta şimdiden ihtiyacı karşılamıyacağı göstermektedir. Buna mukabil Uranium ve Thorium'da depo edilen enerji bütün alınmış olan yakıtlarda depo edilen enerjiden çok fazladır. Bu bakımdan enerji istihsalı yönünden reaktörler çok ehemmiyetli bir mevki işgal etmektedirler.

Reaktörlerin inşası mühendisliğin her dalında yeni problemler doğurmuştur. Yüksek sıcaklıklar altında çalışan irradiasyona mukavim ve üstün vasıflara haiz malzemelerin geliştirilmesi bu problemlerden biri belkide en önemlisidir.

Kullanılan yakıt çok pahalı olduğundan, yüksek vasıflara haiz yakıtların geliştirilmesi ve yakıt elemanı fabrikasyonu ve maliyet fiyatının düşürülmesi için kesif araştırmalar yapılmıştır ve yapılmaktadır.

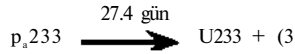
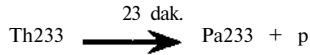
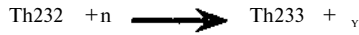
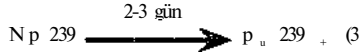
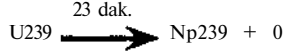
Reaktörlerde yakıt olarak tabii Uranium (0,715 % U<sup>235</sup> + U<sup>238</sup>), Uranium-235, Plutonium-239, Uranium-233 ile zenginleştirilmiş uranium kullanılır.

Uranium-235, Uranium-233 ve Plutonium-239 fisyonla uğramaktadır. Meselâ U-235 aşağıdaki reaksiyona göre fisyonla uğrar.

$U^{235} + \text{nötron} \rightarrow 2 \text{ fasyon parçası} + (2.5-3.0) \text{ nötron} + 3 \text{ ve}$

$Y \text{ ışınları} + \text{enerji} (\sim 200 \text{ Me})$

Plutonium-239, uranium-238 den, uranium-233 tabiiatta çok bol miktarda bulunan Thorium-232 den nötron absorpsiyonu ile aşağıdaki reaksiyonlara göre elde edilir.



Son zamanlarda nükleer yakıt üzerinde çok mühim gelişmeler olmuştur.

Uraniumun, Zirconium, Niobium, Molybdenum ve Silicon ile yeni alışımları kesif olarak etüd edilmiştir. Uranium ve plutonium alışımları için çok önemli neticeler elde edilmiştir. En ilgi çekici olanı seramik yakıtların geliştirilmesidir. Yoğunluğu fazla olan ve seramik yakıt diye adlandırılan  $UO_2$  son zamanlarda nükleer reaktörlerde çok kullanılmaya başlanmıştır.

Genel olarak reaktörlerde kullanılan yakıt elemanının seçilmesinde ve geliştirilmesinde tesir eden başlıca faktörleri aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz.

a. Yakıt elemanı, mümkün olan maksimum uranium miktarı, minimum parazitik nötron absorbe eden bileşenlere sahip olmalıdır.

b. Yüksek yanma (burn-up) seviyelerinde dahi radyasyona karşı stabil olmalı. Ehemmiyetli miktarda boyut ve hacim değişmesi olmamalıdır. Aksi halde yakıt elemanı üzerinde bulunan muhafaza (cladding) malzemesinde kırılmalar meydana gelerek fasyon mahsullerinin yayılmasına sebep olur.

Yüksek yanma (burn-up) seviyelerinde bile yüksek sıcaklıktaki suya karşı korozyon mukavemeti olmalıdır. Bu şekilde eğer bazı yakıt elemanlarında çatlamlar olsa bile reaktörün işlemesi aksamadan devam ettiği gibi esas korun anide ehemmiyetli miktarda azalmaz.

c. Yakıt elemanı ucuz imal edilebilmeli ve istikbaldeki geliştirmelere müsait olmalıdır.

d. Yüksek erime noktası ve tek kristal yapısı olmalı, bu şekilde kütle halinde kullanmak mümkün olur.

e. Reaktör soğutucusu ve yakıt kaplama malzemesi ile kimyasal ve metalürjik tesiri haiz olmamalıdır.

f. Kondüksiyon ısı iletim katsayısı yüksek olmalıdır. Bu sayede yakıt elemanında çekilen ısı akışı artar ve yakıtın erimesi önlenmiş olur.

Eğer bir reaktör tabii uranium ile çalışıyorsa muhafaza malzemesi, nötron absorpsiyon kabiliyeti az olan alüminum, magnezyum, berilyum yahut zirconium'dan biri olmalıdır. Fakat alüminum ve magnezyum  $650-660^\circ C$  gibi izafi olarak düşük erime noktalarına haizdir.  $450^\circ C$  den yukarıda mukavemetleri azalır.

Berilyumun fabrikasyonu oldukça zordur ve yüksek sıcaklıklarda mukavemeti azdır. Zirconium'da pahalı olup yüksek sıcaklıklarda mukavemeti azdır.

Yakıt elemanı, uranium metalinden yapılmış ise, reaktörde radyasyon hasarlarından dolayı çalışma şartları sınırlıdır.

$400^\circ C$  nin üzerindeki sıcaklıklarda şişme meydana gelir. Neticede yoğunluk ve mukavemet azalır. Şişme veya kabarma, fasyon neticesi meydana gelen Xenon ve Krypton gibi gazların genişlemesi ile meydana geldiği kabul edilebilirse, esas sebebi kati olarak bilinmemektedir. Düşük sıcaklıklarda uranium, fasyon mahsullerinin basıncına karşı kâfi mukavemeti haiz olduğu için kabarma meydana gelmez.

Reaktörde mümkün olduğu kadar yüksek sıcaklıklar elde etmek istenir. Isıl randımanı artırmak için, kuvvet santrallerinde kullanılan gaz ve buhar türbinlerinin çalışma sıcaklıklarını daima artırmaya çalışır,

Yapılan araştırmalar göstermiştir ki alışımsız uranium  $450^\circ C$  üzerinde nötron bombardımanına tabi tutulduğu zaman hacimde bir değişme meydana gelir.  $600^\circ C$  civarında mevcut atomların % 1 kısmı yanmağa uğradığı zaman uranium metalindeki hacim artışı % 50 olabilir.  $450^\circ C$  üzerinde katı yakıtlarla çalışan reaktörlerde bu durum çok ciddi tesirler yaratır. Bu durumdan kurtulmak için bazı usullere baş vurulmaktadır.

1 — Uraniumu alışıma haline getirdikten sonra kullanmak:

O şekilde uranium alışıma yapılrki malzemenin krip mukavemeti artsm ve fisyon gazlarının kabartma tesirine daha mukavim olsun. Fakat düşük alışıma ilâvesi meselâ %1-3 zirconium, molybdenium yahut niobium bu maksat için kâfi değildir. Hiç olmazsa % 12 civarında olmalıdır.

2 — Yakıt elemanı üzerine kalın muhafaza malzemesi kullanarak kabarma ve genişlemeye karşı mukavemeti artırmak.

3 — Bunun yerine yüksek sıcaklıklarda üstün vasıfları haiz yeni bir yakıt cinsi getirmek, işte bu düşünce seramik yakıtların geliştirilmesine yardım etmiştir.

Seramik yakıtlar yüksek sıcaklıkta oldukça iyi mukavemet gösterirler, düşük ısıl genişleme, iyi korozyon mukavemeti ve radyasyon hasarlarına karşı stabiteleri vardır.

Tablo — 1 de uranium bileşeni seramik yakıtları gösterilmiştir. Bunlar içinde nükleer yakıt olarak en mükemmeli UO<sub>2</sub> dir.

UO<sub>2</sub> bileşeni, nükleer reaktör yakıtı için yüksek sıcaklıkta aranması lâzım gelen vasıfların birçoğunu haizdir. Fakat yapısal mukavemetten mahrum olup, düşük uranium atom yoğunluğu, düşük kondüksiyon ısı geçirme katsayısı başlıca kullanma mahzurlarıdır, fakat hali hazırda, yüksek sıcaklıklarda çalışmada en uygun yakıttır.

TABLO — I  
Uranium Alaşımları

Bileşim	Erime Noktası °C	Density (g/Cm <sup>3</sup> )	Kristal yapısı	Uranium Miktarı
UB <sub>2</sub>	1500	12.82	Hexagonal	11.75
UB <sub>4</sub>	1500	9.38	Tetragonal	7.95
UB <sub>13</sub>	2025	43.73	FCC	3.06
UC	2375	13.63	FCC	12.97
UC <sub>2</sub>	2475	11.68	BC-Tetragonal	10.61
UA <sub>12</sub>	1590	8.14	FCC	6.62
UN	2630	14.32	FCC	13.52
US	2000	10.87	FCC	9.58
U <sub>5</sub> Si	930	15.58	BC-Tetragonal	14.99
U <sub>3</sub> Si	1600	12.20	Tetragonal	11.31
USi	1600	10.40	Orthorhombil	9.30
U <sub>2</sub> Si <sub>3</sub>	1600	8.98	Tetragonal	7.27
USi <sub>2</sub>	1600	9.27	Hexagonal	7.48
UC <sub>2</sub>	750	10.96	Cubic	0.014

UO<sub>2</sub> nin korozyon mukavemeti ve irradasyon stabilitesi iyi olup, korozyon ve boyutsal değışmeden dolayı hasara mukavemeti çok mükemmeldir.

Bilhassa CO<sub>2</sub>, su, hidrojen ve diğer reaktör soğutucuları ile kimyasal reaksiyona uğramaz. Bu bakımdan basınçlı su reaktörleri için çok münasip bir yakıttır. Reaktör soğutucuları ile kimyasal reaksiyona girmemesi, yakıt olarak kullanılma sebeplerinden biridir. Ergime noktası yüksek olup 1000 °C sıcaklıklarda bile mukavimdir.

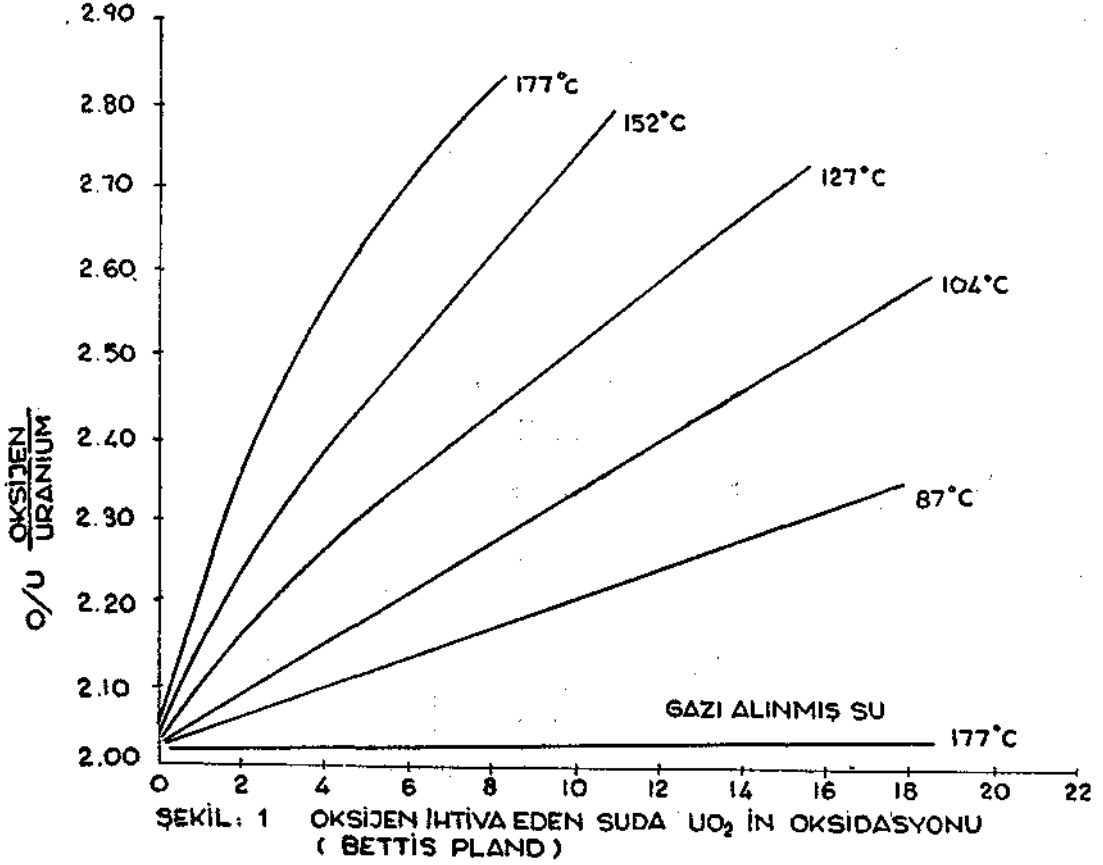
**Özellikleri :** UO<sub>2</sub>, reaktörler için yakıt elemanı olarak seçildikten sonra fiziki özelliklerini tesbit için çalışmalar yapılmıştır. Bunlar aşağıda hülâsa edilecektir. Bir yakıt elemanı için ısıl kondüksiyon katsayısı bu özelliklerin başında gelir. Seçilecek yakıt elemanının boyutlan dolayısı ile yakıt yüze-

yinden alınabilecek maksimum ısı akışı kondüksiyon katsayısı ile sıkı sıkıya ilgilidir. Yakıt elemanı boyutları o şekilde seçilmelidirki merkezdeki maksimum sıcaklık yakıt malzemesinin erime sıcaklığının altında bulunsun.

Umumi olarak kabul edilrki bileşimi UO<sub>2</sub> (Stoichiometric) olan UO<sub>2</sub>1 (Nonstoichiometric) den daha yüksek ısı kondüksiyon katsayısına sahiptir.

Basınçlı su reaktörlerinde yakıt elemanı muhafazalarında meydana gelen çatlaklar dolayısı ile reaktörün ısıl kapasitesi düşer. Çatlaklar su buharının içeri girmesine ve yakıt elemanını meydana getiren (Stoichiometric) UOM in oksidasyonuna sebep olur. (Şekil: 1) Ve ısı kondüksiyon katsayısı düşer.

**Isıl Kondüksiyon Katsayısı:** Yeni bir çalışma (Armour Research



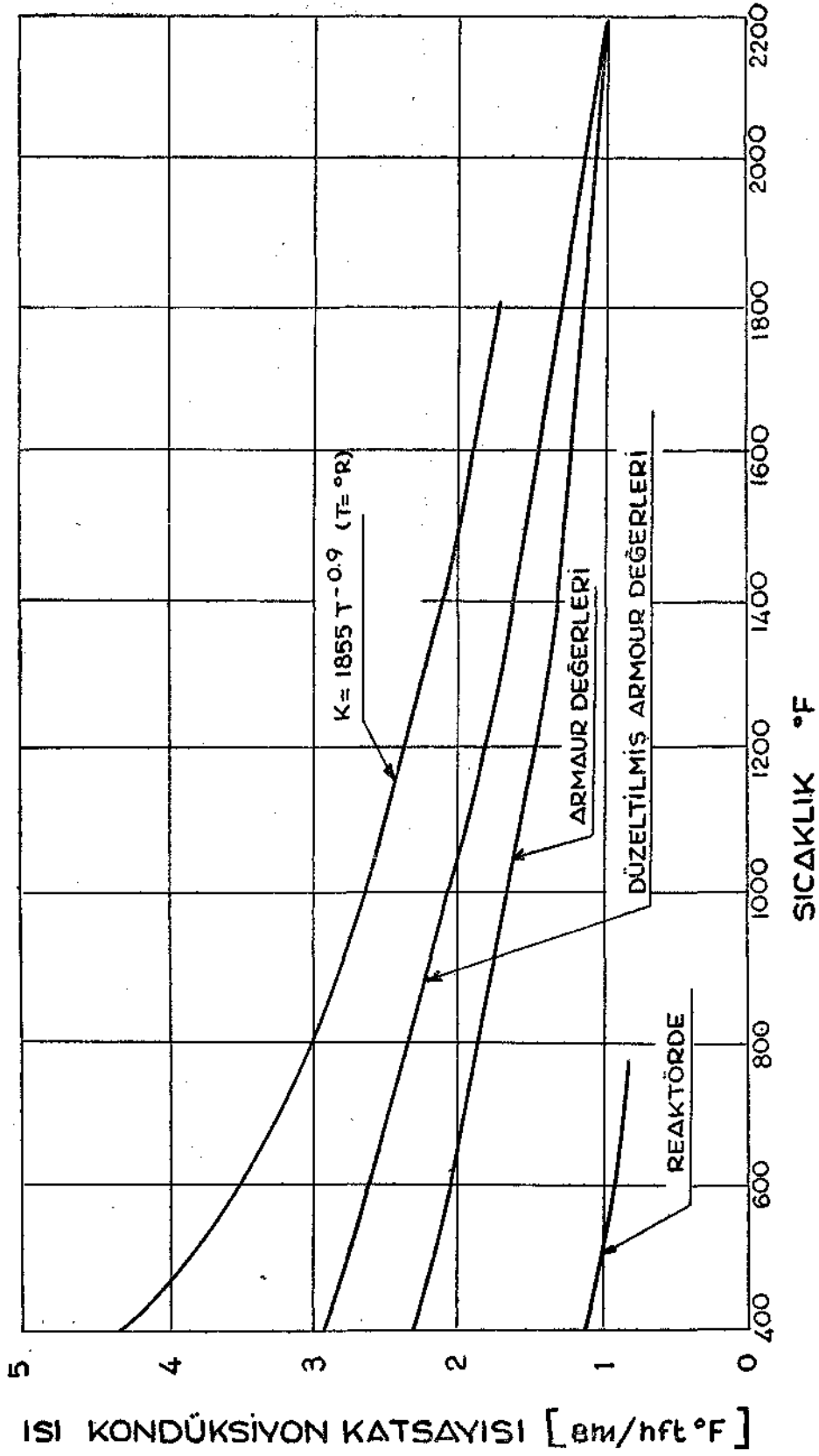
Foundation U. S. A.) tarafından yapılmıştır. Radyal ısı akımı metodunu kullanarak UO<sub>2</sub> in kondüksiyon katsayısını tayin etmişlerdir. 3,2 ton/cm<sup>2</sup> basınç altında soğuk sıkıştırma-ya tabi tutularak yaklaşık 7,5 cm kalınlığında UO<sub>2</sub> den yapılmış diskler hazırlanmıştır.

Hidrojen-buhar çevriminde teorik yoğunluklarının % 74,5 ine kadar sintering ameliyesine tabi tutulmuştur. Isıtma ile önce hidrojen içinde 1400°C ye kadar yapılmış, sonra hidrojen buhar ile değiştirilip sıcaklığı 1500°C ye yükseltilmiş ve 2 saat bu sıcaklıkta sabit tutulmuştur. Soğutma oda sıcaklığında hidrojen atmosferi içinde yapılmıştır. Neticeleler grafik halinde gösterilmiştir. (Şekil: 2) ısıl kondüksiyon katsayısı sıcaklıkla azalır.

UO<sub>2</sub> evvelâ çapları 0,8-0,9 cm olan küçük silindirik şekline getirilir. Yükseklikleri yaklaşık olarak çapına eşittir. Bu UO<sub>2</sub> küçük silindirleri bir kapsül içine yerleştirilir. Kapsül ile silindir arasında 0,005 cm civarında bir boşluk olup burası bir gazla doldurulur. (Şekil: 3) Bu gaz helium olabilir. Kapsülün her iki uçları kaynakla kapatılır.

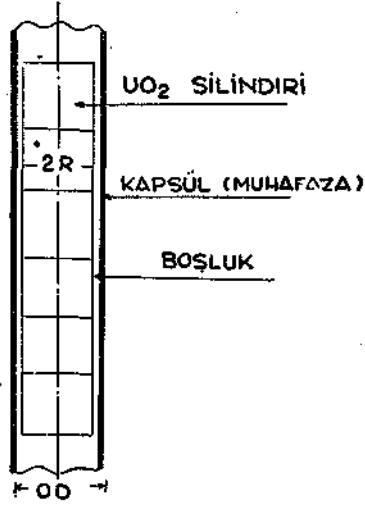
OU<sub>2</sub> den yapılmış silindirik yakıtın yoğunluğu teorik yoğunluğu olan 10,96 gm/cm<sup>3</sup> değerinin % 93,5-95 i kadardır.

Isı kondüksiyon katsayıları muhtelif tecrübeler için şekilde sıcaklığın fonksiyonu olarak verilmiştir. Şu neticeye varılabilir ki efektif ısıl kondüksiyon katsayısı 1,2 K Cal/m. hr.°C olarak alınabilir.

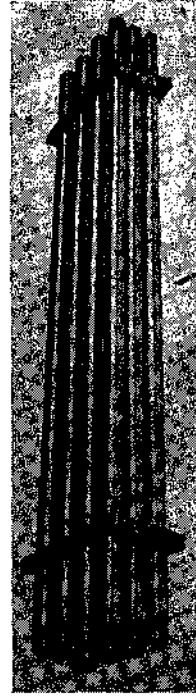


$$\left[ 1 \frac{\text{BM}}{\text{hft} \cdot \text{°F}} = 1.488 \frac{\text{Kcal}}{\text{hm} \cdot \text{°C}}, F = 1.8 \text{°C} + 32 \right]$$

ŞEKİL . 2

UO<sub>2</sub> YAKIT ELEMANI

ŞEKİL 3

**Erime Noktası:**

UO<sub>2</sub> nin erime noktası olarak Ruff ve Coecke tarafından 2170°C, Friederic ve Siting ise 2500-2600° C arasında tayin etmişlerdir.

Daha sonra Lambertson ve Meller 2878 ± 22° C, Eckermann's 2407 ± 19° C, Wisnyi ve Pijanowski ise 2760 ± 30°C olarak tayin etmişlerdir. UO<sub>2</sub> içinde bulunan ilâve maddeler erime noktası üzerine tesir eder.

**Yapısı:**

Eğer uraniumun yüksek mertebeden oksitleri hidrojen içinde mertebeleri düşürülürse UO<sub>2</sub> tozu elde edilir. Fakat UO<sub>2</sub> tozu oda sıcaklığında havaya maruz bırakılırsa içindeki oksijen miktarı artar. Bu artma havada bırakılma zamanına ve tane büyüklüğüne bağlıdır. Fakat bu yapı bir denge durumunu ifade etmez. Denge yapısı havasız yerde tahminen 300°C civarında UO<sub>2</sub> ve U<sub>4</sub>O<sub>9</sub> gibi iki fazı ihtiva eden karışımın tutulması ile elde edilir. Eğer sıcaklık artırılırsa UO<sub>2</sub> nin oksijen miktarı artar. U<sub>4</sub>O<sub>9</sub> nun oksijen miktarı azalır. Meselâ 450°C de UO<sub>2</sub>, 850°C de UCvs dir. Normal sintering sıcaklıklarında UO<sub>2</sub> ve U<sub>4</sub>O<sub>9</sub> mertebesinde olan oksitler esasen bir faz halinde bulunur. Fakat soğutmada UO<sub>2</sub> ve U<sub>4</sub>O<sub>9</sub> olmak üzere iki faza ayrılır.

Elde edilen toz UO<sub>2</sub> in tane büyüklüğü ve kristal yapısı yüksek mertebedeki oksidin cinsine ve indirme sıcaklığına bağlıdır. Sıcaklık artarsa tane ve kristal büyüklüğü artar.

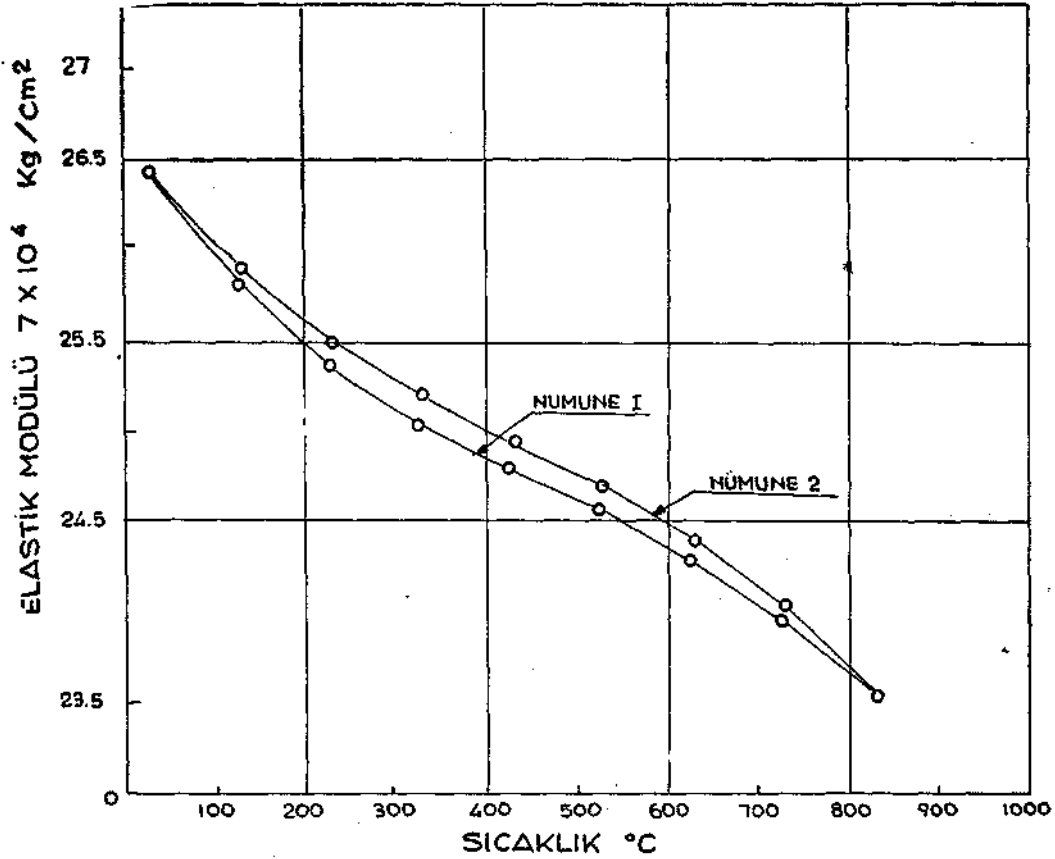
Elde edilen uranium dioksit tozundan, katı uranium dioksit elde etmek için esas teknik, soğukta sıkıştırma ve sonra sintering ameliyesine tabi tutmaktır. Sıcak sıkıştırma usulü geliştirilmiştir. 800°C sıcaklığında 10 T si basınç altında 10,5 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluğunda 0.0025 cm toleransda çaplara kadar katı uranium dioksit elde edilir. Bu yolla uranium dioksit düz plak şeklinde yakıt elemanlarında yapılır.

**Elâstik Modülü:**

Young elâstik modülü 20°C de UO<sub>2</sub> için 18,25 X 10<sup>5</sup> kg/cm<sup>2</sup> dir. Fakat UO<sub>2</sub> nin elâstik modülü sıcaklığın bir fonksiyonudur. (Şekil: 4) de bu değerler sıcaklığın bir fonksiyonu olarak verilmiştir. Sıcaklık yükseldikçe elâstik modülü değerleri azalır.

**Kopma Modülü:**

UO<sub>2</sub> nin kopma modülü National Bureau of Standards ve Corning Glassworks araştırma laboratuarlarında elde edilmiş olup Şekilde- gösterilmiştir.



SEKİL: 4

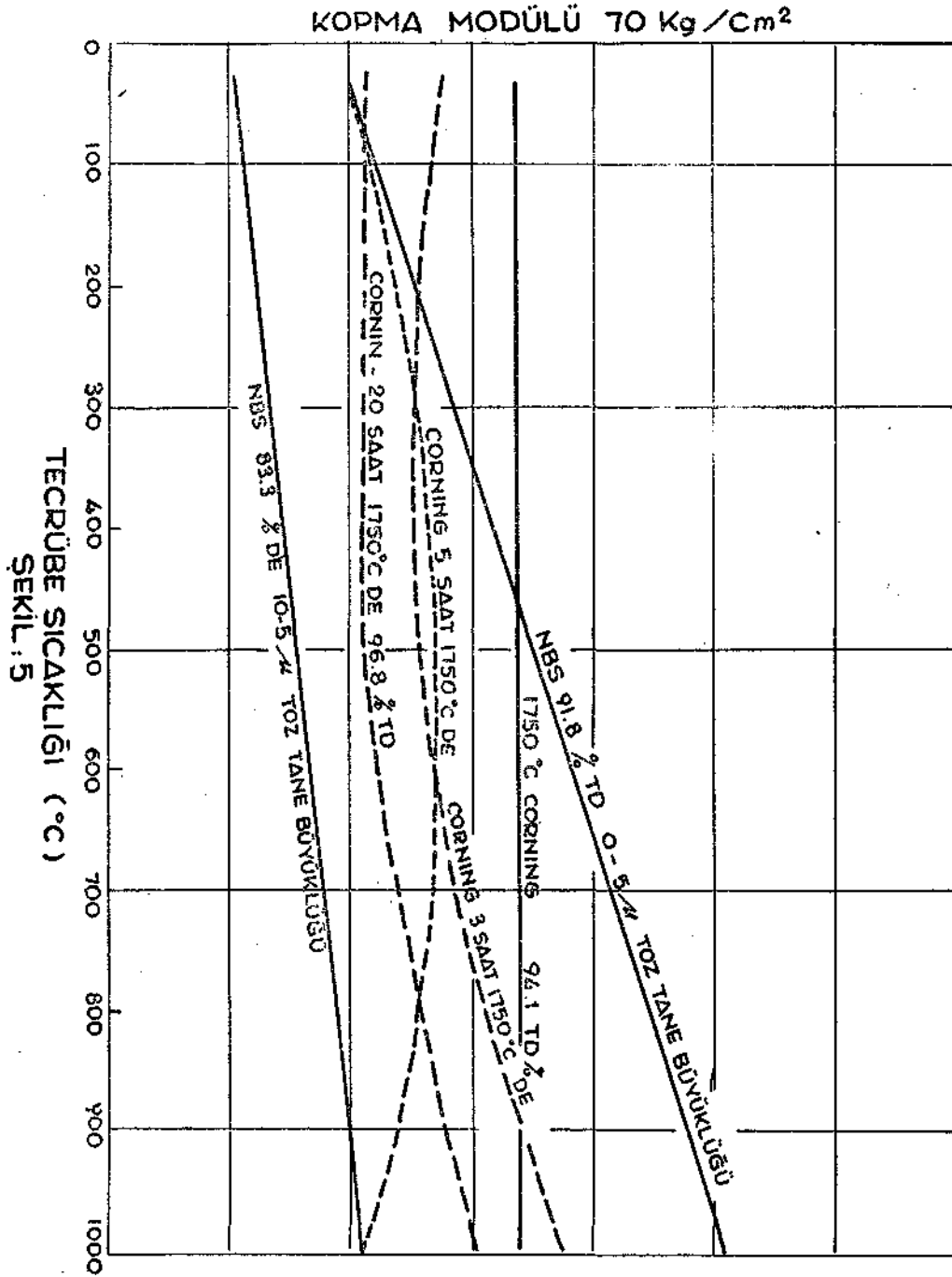
$UO_2$  sintering ameliyesine tabi tutulduktan sonra tecrübe yapılmıştır. (Şekil: 5) genel olarak nükleer reaktörlerde kullanılan bir yakıt elemanında maksimum sıcaklık, kullanılan yakıtın erime noktasından aşağı veya en fazla ona eşit olmalıdır. Bundan dolayı  $UO_2$  den o şekilde bir yakıt elemanı yapılmalıdır ki merkezindeki sıcaklık onun erime noktası civarında bulunsun. Numuneler üzerinde yapılan tecrübeler gösterirki eğer merkezî sıcaklık erime noktasını aşarsa bazı delikler teşekkül eder. Reaktörde radyasyon altında bu küçük delikler etrafında tane büyüklüğü artar.

Stoichiometric olmayan uranium dioksit,  $UO_2$  (Stoichiometric) nazaran daha fazla buharlaşma kabiliyeti vardır. Yüksek meriteden  $UO_3$  gibi oksitlerin buharlaşmasından dolayı  $1100^\circ C$  üstündeki sıcaklıklarda ağırlıkta bir azalma müşahade edilir.  $UO_2$  de irrediyasyon esnasında buharlaşır. Fakat buharlaşma sıcaklıkları  $1100^\circ C$  nin çok üstündedir. Hakikatte merkezî sıcaklık erime nok-

tasının üzerine ekseriya çıkar. Merkezde distilasyon'a uğrayan  $UO_3$  elemanın soğuk noktalarında yoğunlaşarak soğur ve oksijen ayrılır. Ayrılan oksijen sıcak olan merkezî bölgeye doğru yayılarak bu ameliye çevrim boyunca daima devam eder.

Reaktörün çalışmaya başlaması ve anı durdurulması neticesi meydana gelen anı sıcaklık değişimleri (ısıl şok) yüksek sıcaklık sradienleri neticesi yakıt elemanında ısıl gerilmeler artar ve radyal istikâmette çatlaklar hasil olur. Fakat yakıt elemanı etrafında bulunan kapsül, çatlamış yüzeylerin temasını temin ederek ayrılmalarını önler.

Fisyon neticesinde hasil olan gazların yaptığı iç basınç dolayısıyla de yeni çatlaklar meydana gelir. Bundan dolayı belirli bir reaktörün anı durdurma ve çalıştırılması belirli bir miktar geçince bu çatlaklar belirir. Nükleer reaktörler yüksek sıcaklıklarda çalıştırılırsa sistemin ısıl randımanı artar ve sistem ekonomik olur. Bu reaktörlerin bir



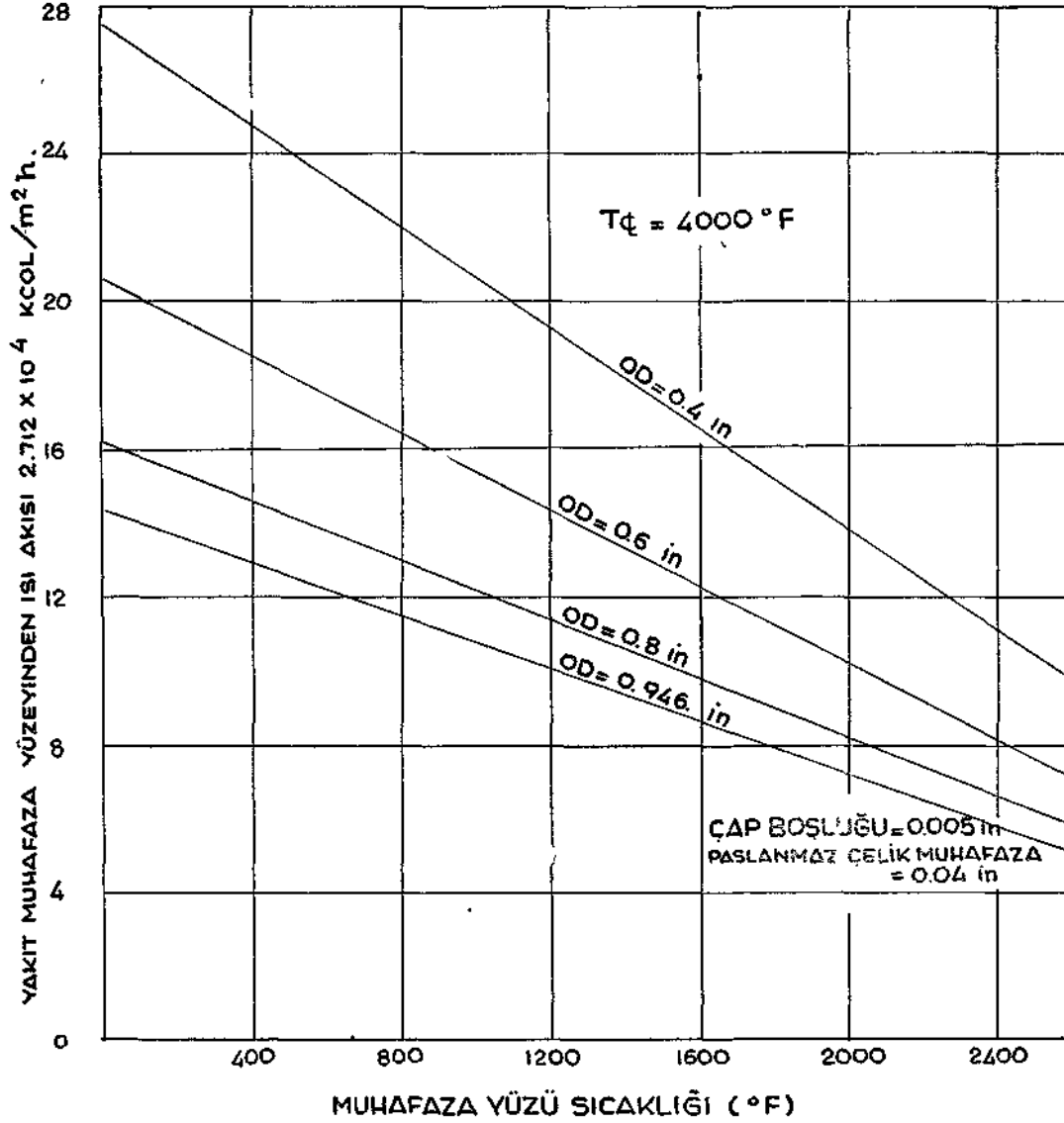
avantajdır. Eğer yüksek malzeme randımanı sağlayabilirsek o zaman reaktörlerin avantajından bahsedebiliriz.

Elektrik istihsal eden nükleer reaktörlerde maliyet istihsal edilen kilowat - saat'ın bir fonksiyonu olarak hesap edilir. Eğer kilowat - saat basma maliyet düşük ise nükleer güç verimi yüksek olur. Isıl randıman bütün

kuvvet sistemlerinde esastır. Malzeme randımanı (A. M. Weinberg) tarafından brim miktar yakıt elemanı başına elde edilen elektrik enerjisi olarak tarif edilmiştir.

Yüksek yakıt fiyatı yüzünden bu tarif nükleer reaktörlerden çok önemlidir. Yakıtın imali ve Radiaktif maddelerin kullanılmasındaki zorluklar onların maliyet fiyatlarını art-





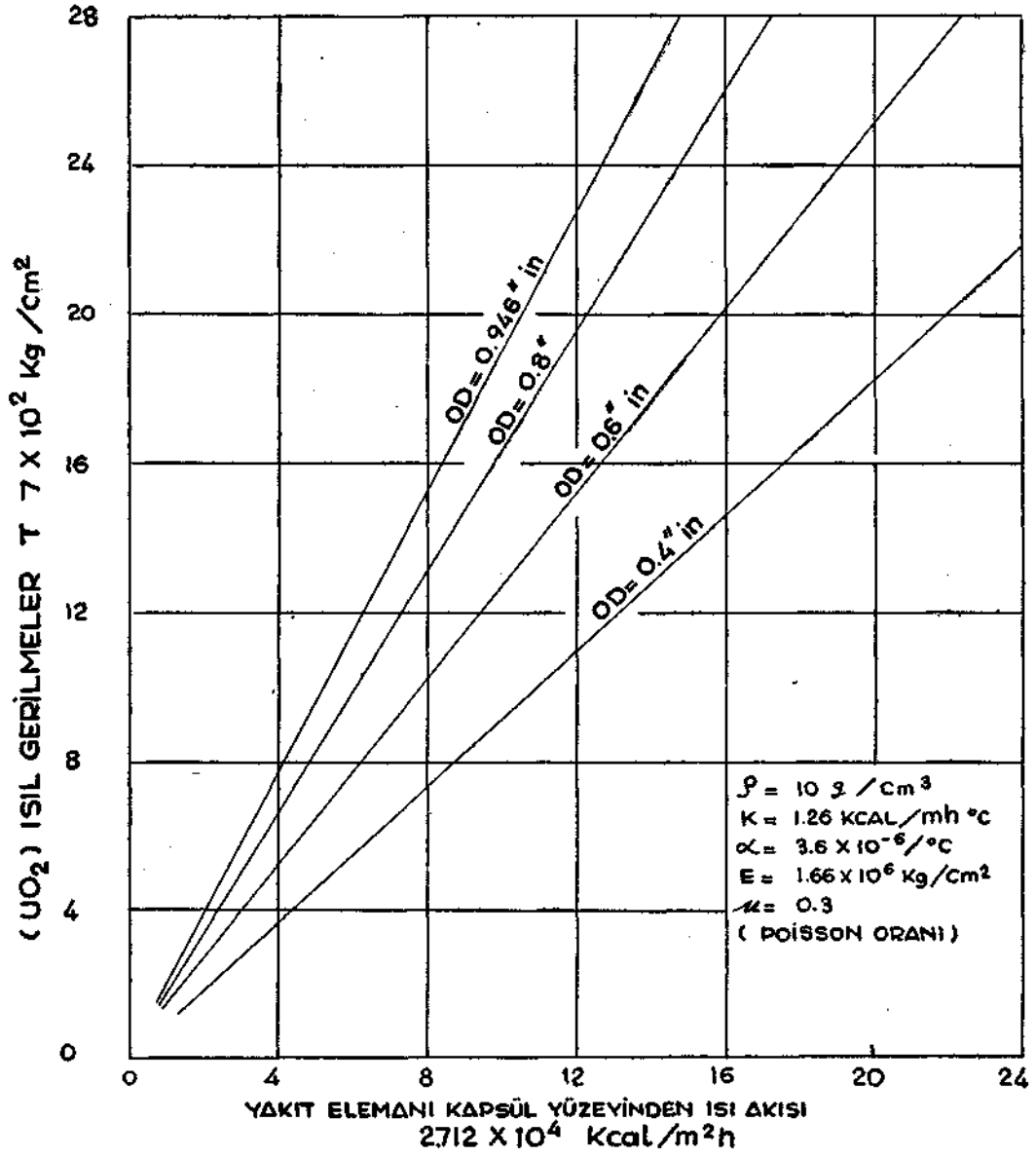
ŞEKİL : 6 UO<sub>2</sub> ÇAPI VE MUHAFAZA YÜZEYİNDEN ALINAN ISI AKISININ FONKSİYONU OLARAK MUHAFAZA YÜZEY SICAKLIĞI

tırır. UO<sub>2</sub>, reaktör sistemlerinin yüksek sıcaklıklarda çalışmasını mümkün kılar. Böylece ısı randımanı artar.

Elektrik istihsal eden bir buhar kuvvet sisteminde maksimum randıman elde edilebilmesi için, daima yüksek çalışma sıcaklıkları elde etmeğe doğru bir meyil vardır. Nükleer reaktör sistemlerinde ısı randıman % 40'ı aşarsa, sistemden alınan enerji, reaktör malzemelerinin hassaları ve ısı transferi ortamı (soğutucu akışkan) tarafından sınırlanmıştır. Bir yakıt elemanının yüzeyinden alınan maksimum enerji ısı gerilmeler ile

yakıtın kopma gerilmesine erişeceği noktaya tekabül eder.

UO<sub>2</sub> den bir yakıt elemanının merkezindeki maksimum sıcaklığı (4000°F) olarak alınabilir. (Şekil: 6) da muhtelif yakıt elemanı çapları için, yüzeyden çekilen ısı yakıt elemanının yüzeyindeki sıcaklığın bir fonksiyonu olarak, (Şekil: 7) de muhtelif yakıt elemanı çapları için ısı gerilmeler, yüzeyden çekilen ısı akısının bir fonksiyonu olarak" (Şekil: 8) de UO<sub>2</sub> merkezi ile kapsül yüzeyi arasındaki sıcaklık farkını çap'm ve ısı akısının bir fonksiyonu olarak verilmiştir.



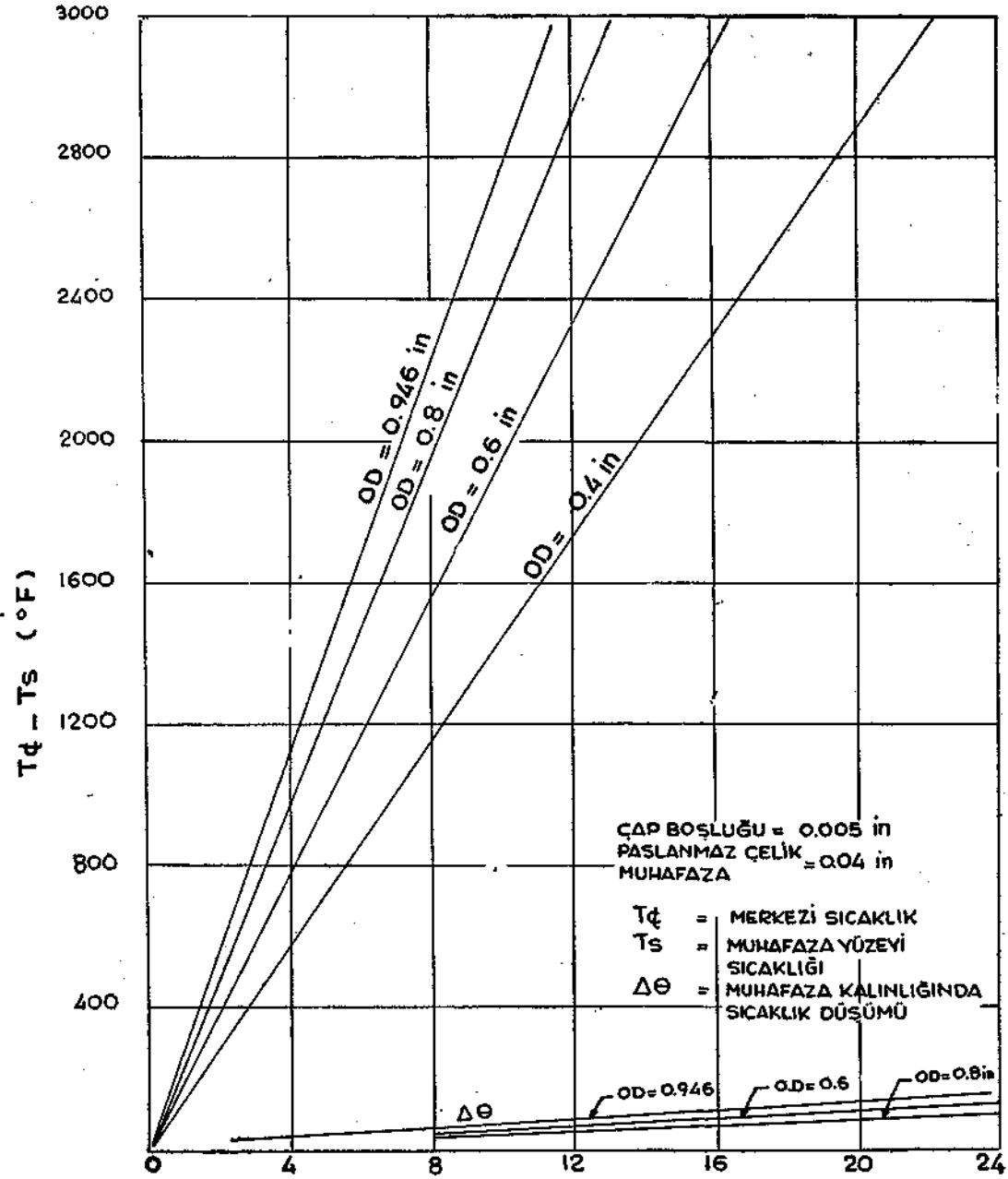
**SEKİL : 7 SİLİNDİRİK UO<sub>2</sub> İN YÜZEYİNDE MEYDANA GELEN ÇEVRESEL NORMAL GERİLMELER.**

Eğrilerin tetkikinden anlaşılacağı üzere reaktörden çekilen ısı arttığı zaman yakıt merkezindeki sıcaklık erime noktasına erişeceği gibi ısı gerilmelerde artar.

#### NETİCE

Uranium dioxide bir yakıt elemanı malzemesi olarak seramik yakıtların en uygunudur. Radyasyon ve kimyasal stabilitesi iyidir. Fakat ısı kondüksiyon kat sayısı düşüktür.

Isıl gerilmeler, bu kat sayısı ile çok ilgilidir. Bu yüzden ısıl gerilmeler çok yüksektir. Eğer kapsül (muhafaza) yüzeyindeki sıcaklık ve bu yüzeyden alınan ısı akısı belli ise ısıl gerilmeler grafikten bulunur. Gösterilebilir ki, kısa silindirlere meydana gelen ısıl gerilmeler, % 30 daha azdır. UO<sub>2</sub> silindir yüksekliklerinin çapa eşit yapılmasının sebebi de budur. Erime noktasının yüksek oluşu en büyük avantajıdır.



ŞEKİL 8 UO<sub>2</sub> MERKEZİ İLE MUHAFAZA YÜZEYİNDEKİ SICAKLIK FARKI

### Referanslar:

- 1 — E. Friedrich and L. Sittig. Preparation and properties of High-Melting lower oxides.
- 2 — J. C. Hedge and I. B. Field house. Thermal Conductivity of UO<sub>2</sub>. ASAE report AECU - 3381.
- 3 — A/Conf 15/2404 Belle J. Properties of Uranium Dioxide.
- 4 — The ORNL Gas cooled reactors ORNL - 2500 Partz Plant design.
- 5 — Sadık Kakac Heat removal from nuklear reactors (M.I.T.).
- 6 — Nuclionic 5 July 1957 P. 94 - 103.
- 7 — Sadık Kakac Evaluation of uranium dioxide as a Fuel Element in nuclear Reactors (M.I.T. - Hesis).