

14047

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÖZGAT-SORGUN-TEMREZLİ URANYUM REZERVİNİN YERİNDE EKSTRAKSİYON PROSESİYLE

DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK TEKNOLOJİK VE EKONOMİK İNCELEMELER

DOKTORA TEZİ

Y. Müh. Gürses ÖNER

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 11 Temmuz 1988

Tezin Savunulduğu Tarih : 2 Eylül 1988

Tez Danışmanı : Prof. Dr. İhsan ÇATALTAŞ

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Zeki DOĞAN

Doç. Dr. Öner HORTAÇSU

T. C.
Yükseköğretim Kurulu
Bilimsel Araştırma Merkezi

TEMMUZ 1988

ÖNSÖZ

Ülkemizde yerinde uranyum ekstraksiyonuna ve Türkiye uranyum rezervlerinin bu yöntemle değerlendirilmesine yönelik çalışmalara ilk defa İTÜ Kimya Mühendisliği Bölümünde 1983 yılında başlatılmıştır. Bu güne kadar sürdürülen çalışmalara çeşitli kuruluş ve kişilerin maddi ve manevi katkısı olmuştur.

Bu kişilerin başında çalışmanın bu aşamaya gelmesinde bana her türlü imkanı sağlayan, çalışmalarımı titizlikle yöneten ve her safhada kıymetli yardımını esirgemeyen sevgili hocam Prof.Dr. A.İhsan Çataltaş'a, ve bu çalışmadaki büyük destek ve yönlendirici yardımlarından dolayı manen ağabeyim gibi sevdiğim sayın hocam Doç.Dr. Hasancan Okutan'a şükranlarımı sunarım.

Tüm çalışma boyunca beni manen destekleyen eşim Mualla Öner'e bu çalışmamı hitaf eder ve sonsuz anlayış ile desteğinden dolayı kendisine teşekkürü borç bilirim.

Tez çalışmasına proje desteği sağlayarak, kısıtlı olanaklarla yürütmeye çalıştığımız araştırmalara hız kazandıran Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Başkanlığına teşekkürlerimi sunarım. Yozgat bölgesi ile ilgili uranyum numunenelerinin ve bölgeye ait MTA raporlarının temininde her türlü yardımı sağlayan ve anlayış gösteren MTA Genel Müdürlüğüne, MTA Atom Kömür Daire Başkanlığına, özellikle sayın Dr. Sedat Uz'a ve MTA Teknoloji Dairesi İdarecilerine sonsuz teşekkür ederim.

Magnetik karıştırıcılı otoklavın karıştırıcı ve kontrol ünitesinin bölümümüze Alman MAN GHH Firması tarafından hibe edilmesinde rol oynayan ve baştan itibaren desteğini esirgemeyen TUGSAŞ Gemlik Müessese Müdürü Sayın Yük. Müh. Fikret Acar Çalışal'a, hibeyi yapan Alman MAN GHH Firmasına, çalışmamdaki çeşitli yardım ve desteğinden dolayı A.B.D. In-Situ Inc. Firmasına ve özellikle Dr. C.R. McKee ve Dr. C. Farrell'e, Elektron Mikroskopik analizin yapılmasına imkan sağlayan İTÜ Metalurji Bölümü Öğretim Üyelerinden Doç.Dr. Adnan Tekin'e sonsuz şükranlarımı sunarım. Tezimin yazımında büyük destek gösteren hocam Doç.Dr. Ekrem Ekinci'ye teşekkürü borç bilirim. Bu çalışmanın gerçekleşmesindeki yardımlarından dolayı Araştırma Görevlisi sayın Y.Müh. Gülhayat Nasün'e teşekkür ederken, İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi yetkililerine ve çalışanlarına şükranlarımı sunarım.

Bu güne gelebilmeme imkan sağlayan, yaşamımın her safhasında bana destek olan ve bana sonsuz emeği geçen anne-babama ve bütün hocalarıma ayrıca teşekkür etmeyi borç bilirim.

İÇİNDEKİLER	Sayfa
ÖZET	vi
SUMMARY	vii
BÖLÜM 1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
1.1. Türkiye Uranyum Rezervleri ve Değerlendirilmesi ile İlgili Yapılan Çalışmalar	2
1.2. Çalışmanın Amacı	3
BÖLÜM 2. URANYUM EKSTRAKSİYON KINETİĞİ	5
2.1. Çözünürlük Mekanizması	5
2.2. Çözünürlük Hızına Etki Eden Faktörler	6
2.2.1. Asit ve Alkali Etkisi	7
2.2.2. Çözücü Konsantrasyonunun Etkisi	7
2.2.3. Oksitleyici Etkisi	8
2.2.4. Sıcaklık Ve Basıncın Etkisi	11
2.2.5. Karıştırmanın Etkisi	12
BÖLÜM 3. YERİNDE URANYUM EKSTRAKSİYONU	13
3.1. Yerinde Değerlendirme Yöntemi ile Uranyum Ekstraksiyonu	13
3.1.1. Yerinde Değerlendirme Yönteminin Tanımı ve Geçmişi	14
3.1.2. Üstünlük ve Sakıncaları	16
3.1.3. Uranyum Rezervlerine Uygulama	18
3.2. Yerinde Uranyum Ekstraksiyonunun Modellenmesi	20
3.2.1. Modele Gereksinim	20
3.2.2. Poröz Ortamda Kimyasal Taşınımın Modellenmesi	20
3.2.3. Yerinde Ekstraksiyona Yönelik Deney Tasarımı	23
3.2.4. Deney Sonuçlarının Araziye Uygunluğu	24
BÖLÜM 4. DENEMELER	25
4.1. Deney Düzenekleri ve Kullanılan Cihazlar	25
4.1.1. Çalkalayıcı Ekstraksiyon Düzenegi	25
4.1.2. Magnetik Karıştırıcılı Otoklav Düzenegi	25
4.1.3. Kolon Ekstraksiyon Düzenegi	30
4.1.4. Deneylerde Kullanılan Diğer Cihazlar	32
4.2. Analiz Yöntemleri	35
4.2.1. X-Işınları Yöntemi	35
4.2.2. Elektron Mikroskopisi Yöntemi	35
4.2.3. Bromo-PADAP Yöntemi	36

4.2.4. Topo Yöntemi	37
4.2.5. Asit Ve Alkali Analizleri	38
4.2.6. Diğer Analizler	38
4.3. Ön Hazırlık İşlemleri	39
4.3.1. Cevherin Hazırlanması	39
4.3.2. Çözeltilerin Hazırlanması	39
4.4. Ekstraksiyon İşlemi	40
4.4.1. Çalkalayıcı Denemeleri	41
4.4.2. Otoklav Denemeleri	41
4.4.3. Kolon Denemeleri	42
4.5. Kütle Dengesi Hesaplamaları	42
BÖLÜM 5. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRİLMESİ	44
5.1. Cevherin Yapısının İncelenmesine Yönelik Çalışmalar	44
5.1.1. Yozgat Uranyum Rezervinin Konumu	44
5.1.2. Rezervi Temsil Eden Numunenin Hazırlanması	49
5.1.3. Numunenin Minerolojisinin İncelenmesi	49
5.1.3.1. Elek Analizi	49
5.1.3.2. Kimyasal Analiz	51
5.1.3.3. X-Işınları Analizi	52
5.1.3.4. Elektron Mikroskopik Analiz	52
5.2. Asit Sistemlerle Yapılan Ekstraksiyon Denemeleri	61
5.2.1. Uygun Asit Sisteminin Seçimi	62
5.2.2. H_2SO_4 Sistemine MnO_2 Oksitleyicisinin Etkisi	64
5.2.3. H_2SO_4 Sistemine H_2O_2 Oksitleyicisinin Etkisi	65
5.2.4. Caro Asidiyle Yapılan Ekstraksiyon Denemeleri	68
5.2.5. Sonuçların Değerlendirilmesi	71
5.3. Alkali Sistemlerle Yapılan Ekstraksiyon Denemeleri	73
5.3.1. Alkali Türünün Etkisi	74
5.3.2. Toplam Alkali Konsantrasyonunun Etkisi	77
5.3.3. $[CO_3^{2-}]/[HCO_3^-]$ Oranının Etkisi	79
5.3.4. Sonuçların Değerlendirilmesi	79
5.4. Otoklav Denemeleri	82
5.4.1. Asidik Sistemlere Basıncın Etkisi	84
5.4.2. Alkali Sistemde Basıncın Etkisi	86
5.4.3. Sıcaklığın Etkisi	86
5.4.4. Sıcaklık Sonuçlarının Kinetik Değerlendirilmesi	88
5.5. Kolon Denemeleri	96
5.5.1. Asit Sistemin Karşılaştırılması	98
5.5.2. Alkali Sistemin Karşılaştırılması	99
5.5.3. Asidik Sistemde Porozitenin Verime Etkisi	101
5.5.4. Kolon Ekstraksiyon Sonuçlarının Modellenmesi	105

5.5.4.1. Model denkleminin Geliştirilmesi	106
5.5.4.2. Model Denklemi ile Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması	111
5.5.5. Kolon Sonuçlarının Değerlendirilmesi	117
BÖLÜM 6. YERİNDE URANYUM EKSTRAKSİYONUNU PROSESİNİN MALİYET VE FİZİBİLİTE ANALİZİ	120
6.1. Bilgisayar Paket Programı ve Hesaplama Yöntemi	122
6.2. Modelin Geliştirilmesi	124
6.2.1. Program Giriş Dataları	124
6.2.2. Kuyu Bölgesi Analizi	125
6.2.3. Ekstraksiyon Tesis Analizi	127
6.2.4. Sermaye Maliyeti Analizi	128
6.2.5. İşletme Maliyet Analizi	129
6.2.6. İndirgenmiş Nakit Akımı Analizi	130
6.2.7. Sonuçlar ve Çıkış Tabloları	134
6.3. Bilgisayar Paket Programının İşlerliğinin İncelenmesi	134
6.4. Bilgisayar Paket Programında Türkiye'ye Yönelik Uyarlamalar	135
6.5. Yozgat-Sorgun-Temrezli Bölgesine Uygulama	136
6.6. Duyarlılık Analizi	139
BÖLÜM 7. GENEL SONUÇLAR	148
KAYNAKLAR	152
EK A	163
EK B	171
ÖZGEÇMİŞ	179

ÖZET

Bu çalışmanın amacı Yozgat-Sorgun-Temrezli uranyum rezervinin yerinde uranyum ekstraksiyon yöntemiyle değerlendirilebilme olanağının incelenmesidir. Belirlenen amaç çerçevesinde Çalışmada MTA dan temin edilen ve yöreyi temsil edecek şekilde harmanlanmış numune kullanılmıştır.

Birinci aşamada cevherin konumu ve minerolojisi incelenmeye çalışılmıştır. Bu maksatla MTA'nın yörede gerçekleştirildiği jeolojik çalışmalar değerlendirilmiş ve cevherin yerleşim konumu ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Bunu takiben harman cevher üzerinde minerolojik incelemeler yapılmıştır. Bu incelemelerde özellikle cevher numunesinin kimyasal, x-ışınları ve tarama elektron mikroskopisi analizleriyle ana yapı ortaya çıkarılmıştır.

İkinci aşamada çalkalayıcı, otoklav ve kolon ekstraksiyon denemeleri gerçekleştirilmiş ve gerek asidik gerekse alkali liksiviantlar incelenerek en uygun çözücü sistemi belirlenmeye çalışılmıştır. Denemeler $0.1 \text{ M H}_2\text{SO}_4$ - $0.3 \text{ g/l H}_2\text{O}_2$ sistemiyle Türkiye'de ilk kez denenen % 0.8'lik Caro asidi sistemlerinin en uygun asit liksiviantlar olduğunu göstermiştir. Bu iki sistem için asit tüketimleri ton cevher başına 43.5 kg ve 70.3 kg gibi düşük miktarlarda belirlenmiştir. $0.085 \text{ M Na}_2\text{CO}_3$ - 0.015 M NaHCO_3 ve $2 \text{ g/l H}_2\text{O}_2$ içeren liksiviantın en optimum alkali sistemini oluşturduğu ve alkali tüketiminin düşük olduğu görülmüştür. Otoklav ile gerçekleştirilen kinetik çalışmalar uranyumun çözünme hızının yüzey alanı ile bağıntılı olduğunu belirlemiştir. Yozgat-Sorgun-Temrezli cevherinin, benzeri düşük tenörlü rezervlerden çok daha kolaylıkla ve hızla çözüldüğü belirlenen aktivasyon enerjilerinin değerlendirilmesi sonucu ortaya çıkmıştır. Kolon ekstraksiyon denemeleriyle yerinde uranyum ekstraksiyon yöntemine yönelik gerçekleştirilen çalışmalar çalkalayıcı ve otoklav sonuçlarıyla uyumlu bulunmuştur. Kolon ekstraksiyon sonuçlarının birinci dereceden non lineer bir süreklilik eşitliğiyle modellenilebileceği gösterilmiş ve ekstraksiyonun kütle iletim kontrollü olduğu belirlenmiştir.

Teknolojik çalışmalarla elde edilen sonuçlar bir maliyetlendirme ve duyarlılık analizine tabi tutulmuştur. Bu amaçla bir bilgisayar programı geliştirilmiş ve program gerek asidik, gerekse alkali sistemler için çalıştırılmıştır. Asit sistemde 1 kg U_3O_8 in maliyeti 43.82 \$, alkali sistemde ise 54.82 \$ olarak belirlenmiştir. Asit için belirlenen bu fiyatın mevcut fiyatlara göre ekonomik olduğu görüldükçe yöreye uygulanabileceği anlaşılmıştır. Yapılan duyarlılık analizi, sarı pasta maliyetine en fazla cevher derinlik ve tenörünün ve kuyular arası mesafe değişimlerinin etkin olduğunu göstermiştir.

TECHNOLOGICAL AND ECONOMICAL STUDIES ON IN SITU LEACHING OF YOZGAT-SORGUN-TEMREZLI URANIUM DEPOSIT

SUMMARY

Uranium ore is mostly found as low grade reserves (less than 1 %) in different region of Turkey. The uranium reserves of Turkey amounts to 8400 metric tonnes of U_3O_8 equivalent in the reasonably assured category. The average grade of these deposits is 0.05 %.

According to the last report of Mineral Research and Exploration Institute of Turkey (MTA), an important uranium ore deposit with U_3O_8 content 0.1 % was found near Yozgat-Sorgun area which is located at Central Anotolia. The reserve is underground formed uranium deposit. It is estimated to be 2400 metric tonnes U_3O_8 and depth of the mineral is about 100 m.

As mentioned above, Yozgat-Sorgun-Temrezli uranium reserve is an underground formed uranium ore. In Situ leaching of uranium has been proven to be one of the most economical processes for recovering this metal especially from lower grade deposits. For this reason, it has been thought that it is necessary to investigate the applicability of in situ leaching technique for recovering Yozgat-Sorgun-Temrezli uranium deposit.

The main objective of this study was to investigate the applicability of in situ leaching process to Yozgat-Sorgun-Temrezli uranium deposit. For this purpose, batch, autoclave and column packed leach tests were conducted with several acid and alkaline lixivants under in situ leaching conditions, in the laboratory. To show advantages of the in situ mining over conventional mining techniques, a computer package program calculating cost and sensitivities analysis of in situ uranium leaching for Yozgat-Sorgun-Temrezli deposit were set up.

The laboratory leaching experiments were conducted by using the blended uranium ore sample which was obtained from Technology Laboratories of MTA. Ten different well corings were blended representing Yozgat-Sorgun-Temrezli area by MTA. A screen analysis of blended sample was realised. In order to characterise the blended ore sample various chemical analyses such as U_3O_8 , SiO_2 , Al_2O_3 ,

Fe₂O₃, CaO, MgO, Na₂O, K₂O, CO₂, SO₃; X-ray diffraction and SEM analysis were performed.

Batch, autoclave and packed column leach tests were used to evaluate the leach rate and recovery of U₃O₈ from the blended ore sample of Yozgat-Sorgun-Temrezli uranium deposit with several acid and alkaline systems. During leach tests, 2 ml samples were taken from the leaching solutions at different times and U₃O₈ concentration was measured, U₃O₈ analysis was carried out by a modified colorimetric method of Johnson and Florence.

Batch tests were carried out in a glass flask mounted on a shaker apparatus and employed small amounts of blended ore (25 g) and leach solution (250 ml). Several acid and alkaline systems were investigated in order to determine the most suitable lixiviant for the leaching process. Also H₂O₂ and MnO₂ were added as an oxidant to the leaching media. The systems used as lixiviant were HNO₃, H₂SO₄, H₂SO₄-H₂O₂, H₂SO₄-MnO₂, Caro's Acid, Na₂CO₃-NaHCO₃-H₂O₂, K₂CO₃-KHCO₃-H₂O₂, (NH₄)₂CO₃-NH₄HCO₃-H₂O₂.

Autoclave tests were conducted using two liter magnet stirred type with acid and alkaline lixiviant systems in autoclave. All autoclave tests were made under 8 atm nitrogen pressure. Cooling coils were inserted in the unit. Temperatures were maintained at 16, 30, 40, 50, 60 and 70 °C. All tests were run with initial solutions to solids in the ratio of 10:1. During leach tests, all samples were agitated continuously at 600 rpm, except for brief intervals to sample the solution.

To more closely simulate field leaching conditions several packed column leach tests were performed in glass tubes about 3.72 cm in diameter and 30-60 cm long. 100 g of crushed ore was used during column pack tests. Small plugs of sand and glass wool were placed in the bottom of each pack prior to packing with ore. The lixiviant was fed from the top by the inlet pump. Leachate liquor was taken from the bottom of the column in every half pore volume. To maintain the constant pressure gradient across the column, a nitrogen gas was used.

The main minerals were SiO₂, Al₂O₃ and CaCO₃ and small amount of complex silicates such as potassium alumina silicate were detected by ore characterisation with XRD and SEM. Although the specific uranium mineral was not detected on the blended uranium ore sample, XRD analysis showed that iron uranium silisite (U₂FeSi) peaks were crossed with major complex silicate. The blended ore grade was measured as 1330 ppm U₃O₈. The chemical analysis for other key components of the ore sample were 72.23 % SiO₂, 11.7 % Al₂O₃, 6.75 % CaO and 3.56 % K₂O essentially. The results of XRD and SEM examinations, and the results of wet chemical analysis are in good

agreement. These ore characterization results are similar with MTA report.

As an initial study, two acid leach tests were conducted with solutions of 0.1 M HNO_3 and 0.1 M H_2SO_4 . Since nitric acid serves as its own oxidizer, it is particularly sensitive to pH. At the beginning, pH of leachate solution was 1.16, end of fifth hours it raised to 1.5. Nitric acid system achieved 73 % recovery in 6 hours. The sulphuric acid test was begun with the pH rising to 2.57 in first 15 minutes. pH was measured as 5 after 5 hour periods of leaching. The sulphuric acid system is sensitive to pH as opposed to the nitric acid system. A preliminary conclusion is that the nitric acid system is the better of two. To investigate the effects of oxidant in sulphuric acid leaching, additional experiments were performed with MnO_2 and H_2O_2 . Adding MnO_2 or H_2O_2 oxidant to the acid leaching media highly increased the uranium recovery. Over 95 % extraction yield was obtained after four hour periods of leaching

Results of this study, however, show that it is necessary to add oxidant to sulphuric acid solution, or it's necessary to use Caro's acid as lixiviant. 0.1 M H_2SO_4 -0.3 g/l H_2O_2 lixiviant system is more economic than Caro's acid system which must be prepared freshly before. The acid consumptions for 0.1 M H_2SO_4 -0.3 g/l H_2O_2 and 0.8 % Caro's acid systems were measured and found for a metric tonnes of ore 43.5 kg and 70.3 kg respectively.

Similar experiments were repeated with carbonate solution. At the beginning, three leaching tests were conducted with sodium, potassium and ammonium carbonate-bicarbonate lixiviant systems. Later, hydrogen peroxide was added to carbonate solutions. The experiments performed, showed that rates of extraction by carbonate solution without oxidant are very low, addition of hydrogen peroxide to the extraction solution always increased the yield of uranium. The better results were obtained with sodium carbonate solution.

To evaluate the effect of the total concentration of carbonate and bicarbonate on the dissolution of uranium, a series of tests were run with Na_2CO_3 - NaHCO_3 - H_2O_2 system. In those leaching tests, the best uranium recovery was obtained with containing total 0.1 M carbonate concentration of sodium system. Additional five leaching experiments were carried out in order to investigate the effect of pH on dissolution of uranium during sodium carbonate extraction. Total carbonate concentration was maintained constant as 0.1 M during these tests. Results showed that the optimum concentration of CO_3^{2-} and HCO_3^- are 0.085 M and 0.015 M respectively, 56 % recovery was obtained after six hour periods of leaching.

As mentioned above the best lixiviant was found as 0.1 M H_2SO_4 -0.3 g/l H_2O_2 , 0.8 % Caro's acid and 0.085 M Na_2CO_3 -0.015 M NaHCO_3 -2 g/l H_2O_2 . Autoclave tests were also run with these three lixiviants. Comparison of the results of autoclave and shaker tests for acid and alkaline systems are in agreement with each other.

To investigate the kinetic mechanism of alkaline leaching, additional autoclave tests were conducted by using sodium system with H_2O_2 and without H_2O_2 . During these experiments temperature was varied from 16 °C to 70 °C. The results of this study showed that the uranium dissolution rate is proportional to the surface area of the uranium particles. The uranium recoveries were 84 % and 72 % for Na_2CO_3 - NaHCO_3 - H_2O_2 and Na_2CO_3 - NaHCO_3 respectively at 70 °C. The activation energies were calculated as 21.3 kJ/mol for sodium system without H_2O_2 , 29.06 kJ/mol for sodium system with H_2O_2 under 50 °C, 9.8 kJ/mol for the system with H_2O_2 at 50-70 °C. These results revealed that rate of uranium dissolution is diffusion controlled.

Packed column tests provide a reasonable method of measuring ultimate U_3O_8 recovery in the laboratory. After placing the ore sample into glass column the porosity of the bed was measured as 42 pct. The solution was circulated through the ore at a constant flowrate ($\approx 0.51/\text{h}$ for 18 hours for sulfuric acid system, 30 hours for sodium system respectively. Similar recoveries were observed during packed column tests comparatively with batch tests.

To investigate the effect of varying flow rate on the recovery of acid leaching, several column leaching experiments were conducted. The results of these experiments revealed that within the range of flow rate studied, the uranium extracted as a function of volume injected did not vary. The concentration expression was derived neglecting axial dispersion from one dimensional continuity equation as function of pore volume injected. Comparison of theoretical and experimental data are in agreement. Interpretation of these results showed that the dissolution process is controlled by mass transfer and not by uranium reaction rate.

To demonstrate the economic viability of in situ extraction of uranium from low grade deposits it is necessary to calculate unit cost of U_3O_8 which will be produced. For this purpose, a computerised costing technique which was developed by NUS Corporation for U.S. Bureau of Mines was used. Application of this cost model generates mine life capital and operating costs as well as solves for economic production cost/lb U_3O_8 ; additionally, model performs sensitivity analysis. The model consists of following sub models;

1. Wellfield analysis,
2. Extraction plant analysis,
3. Capital cost analysis,
4. Operating cost analysis,
5. Discounted cash flow analysis.

The first four submodels are process analysis models. The last one is financial analysis submodel.

To accommodate the broadest possible applications, the input structure of the cost model was organized into three categories, these are;

- required input,
- optional input,
- calculation override input.

There are 13 input parameters in category 1. Examples of these parameters are depth, ore grade, ore thickness, annual production, productive life, and capitalisation parameters. The parameters of category 2 input are leach solution, pattern type, solution grade, oxidizer, IX process, injection-production well ratio, pattern spacing, production well flow rate and operating schedule. Category 3 includes those cost and requirement parameters that are calculated by the model. Both, experimental and geological data were used to evaluate the cost model was modified to agree with the Turkish tax law.

Production costs were obtained as 43.82 \$ and 54.82 \$ for sulphuric acid and alkaline systems respectively for in situ leaching of Yozgat-Sorgun-Temrezli deposit. In examining these results, costs of acid system are more economical than the alkaline system under the last spot price of uranium. The results of sensitivity analysis showed that ore thickness, ore grade and pattern spacing are the most significant effects on cost results.

BÖLÜM 1. GİRİŞ VE AMAÇ

Türkiye gelişme sürecinde bir ülke olarak, bir çok sektörde çeşitli problemlere sahiptir. Ancak gelişmenin kararlı sürebilmesi, az gelişmişlikten kurtularak gelişmiş ülkeler safına katılma, tüm sektörlerde dünya standartlarının üstünde bir endüstrileşme ve ilerleme ile mümkün görülmektedir. Endüstrileşme enerji sektörünün gelişmesine son derece bağımlıdır. Ancak ülkemiz enerji kaynakları açısından yetersiz durumda görülmektedir [1,2]. Bu yüzden enerji ihtiyacının büyük ölçüde dışa bağımlılık ile dengelenmesine çalışılmaktadır. Enerji gereksinimizi karşılayacak ölçüde linyitlere sahip olmamıza karşın linyit kaynaklarımızın yüksek kükürt içerikleri ve düşük kalorileri kömür ithalatına yol açmaktadır. Bilinen petrol kaynaklarımızda yetersiz olması ve klasik yöntemlerle tamamen değerlendirilmesinde mevcut zorluklar, bu enerji kaynağında büyük oranda ithalatla dengelenmesine sebep olmaktadır. Son yıllarda buna birde temiz bir enerji olan doğal gazın ithalatı da eklenmiştir. Bütün bu dışa bağımlılıkta ekonomik açıdan zaten kısıtlı olanaklara sahip ülkemizde mevcut problemleri arttırmaktadır. Mevcut enerji kaynaklarımızın tümünün en verimli şekilde değerlendirilmesi ve bunun için kendimize uygun teknolojik gelişmenin sağlanması zorunlu olmaktadır.

1990'lara yaklaştığımız yıllarda artan enerji açığımızın dengelenmesi açısından nükleer enerjinin tek çıkar yol olduğu söylenemez. Ancak sahip olduğumuz kaynaklar açısından konuya bakıldığında, nükleer enerji, hidrolik, kömüre dayalı termik enerji ve yenilenebilir enerji kaynakları olan jeotermal, güneş ve rüzgar enerjileriyle birlikte kaynak değerlendirme tablosunda yerini almak durumundadır.

1.1. TÜRKİYE URANYUM REZERVLERİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Türkiye'de mevcut uranyum rezervlerinin tespiti için çalışmalar oldukça eskiye dayanmaktadır [3]. Halen varlığı belirlenerek, rezerv tespiti yapılan kaynaklar Tablo 1.1 de görülmektedir. Tabloda görülen rezervlerin haricinde de birtakım anomalilerin olduğu bilinmekteyse de bunların kayda değer önemi yoktur.

Uranyum rezervlerimizin değerlendirilmesine yönelik teknolojik çalışmalar 1966 yılında başlamıştır [3]. MTA tarafından başlatılarak sürdürülen çalışmalarla, 1975 yılında ilk sarı pasta Salihli-Köprübaşı pilot tesisinde üretilmiştir. Bu alanda bir araştırmanın da ODTU'da master çalışması olarak gerçekleştirildiği tespit edilmiştir [5].

Tablo 1.1. Türkiye'de Mevcut Uranyum Rezervleri [4].

Yerleşim	Tenör	Rezerv
Salihli-Köprübaşı	0.05	3040
Uşak-Eşme-Fakılı	0.045	510
Aydın-Söke-Küçükçavdar	0.05	500
Aydın-Söke-Demirtepe	0.08	1300
Çanakkale-Ayvacık-Küçükkuyu	0.08	250
Giresun-Şebinkarahisar	0.04	300
Yozgat-Sorgun-Temrezli	0.10	2500
		8400

Bölümümüzde uranyumun yerinde değerlendirilmesine yönelik çalışmalar ise 1980 yılında A.B.D. Wyoming Üniversitesi işbirliğiyle başlatılmıştır. Bu güne kadar çeşitli cevherler üzerine liksiviant sistemlerinin tespiti,

oksitleyicinin stabilitesinin arttırılması gibi deneysel çalışmalarla, akışın modellenmesi konusunda teorik çalışmalar gerçekleştirilmiştir [6-9]. Ayrıca Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Başkanlığınca desteklenen bir araştırma projesi de bitirilmiştir [10].

1.2. ÇALIŞMANIN AMACI

Bölüm 1.1 de ve Tablo 1.1 de gösterildiği gibi 8400 ton U_3O_8 toplam rezervine sahip ülkemizdeki uranyum cevherleri düşük tenör ve tonajlıdır. Mevcut rezervlerin % 50'si en yeni yöntemlerle bile ekonomik olarak değerlendirilemeyecek derecededir. Mevcut rezervlerin içinde tek başına en büyük ve en yüksek tenörlü rezerv Yozgat-Sorgun-Temrezli cevheridir. Ancak bu rezerv dahi tenörü yüzünden, fakir mineral sınıfına girmektedir [11]. Üstelik 100 ila 200 m arasındaki bir derinlikte, ince tabakalı zonlar halinde bulunmaktadır [4]. Tüm bu özellikleri Yozgat-Sorgun-Temrezli uranyum rezervinin yerinde ekstraksiyon yöntemiyle değerlendirilmesinin araştırılmasını gerekli kılmaktadır.

Dolayısıyla bu çalışmanın amacı açık ve galeri türü madencilik yöntemleriyle, ekonomik ve teknik açıdan değerlendirilemez görünen Yozgat-Sorgun-Temrezli uranyum rezervinin yerinde uranyum ekstraksiyon yöntemi ile değerlendirilmesinin koşullarını incelemektir. Yerinde uranyum ekstraksiyon yöntemine yönelik hidrometalurjik ve kimyasal parametreler belirlendikten sonra da, bu değerlerden yararlanarak, bir bilgisayar maliyet analizi programı yardımıyla ekonomiklik araştırılmasının yapılması amaçlanmıştır.

Deneysel olarak yürütülen çalışmalarda MTA dan temin edilen Yozgat-Sorgun-Temrezli bölgesini temsil eden numunelerin analizlerinin gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Numune analizlerini takiben asidik ve alkali ekstraksiyon çözeltileriyle çalkalayıcı, otoklav ve kolon

ekstraksiyon denemeleri yürütülerek optimum ekstraksiyon parametrelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Her kademede saptanan en iyi koşul bir sonraki aşamada incelenmek istenmiş ve yerinde uranyum ekstraksiyon yöntemi koşullarına yaklaşılmaya çalışılmıştır.

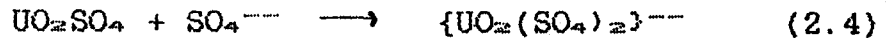
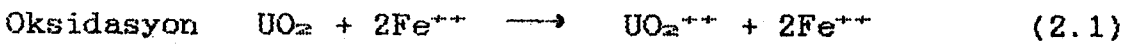
Çalışmanın en önemli bir diğer amacı da minerolojik ve hidrometalurjik ve de kimyasal parametreleri belirlenecek yerinde uranyum ekstraksiyon yönteminin Yozgat-Sorgun-Temrezliye uygunluğunu maliyet hesaplamaları ile de tespit etmektir. Bu amaca ulaşmak için yerinde uranyum ekstraksiyon yönteminin maliyet ve duyarlılık analizini gerçekleştiren bilgisayar paket programı geliştirilmek istenmiştir. Programın uygun parametrelerin mevcudiyetinde her türlü rezerve uygulanabilmesi planlanmıştır. İkinci aşamada da Yozgat-Sorgun-Temrezli rezervine uygulanarak, bölgenin maliyet ve duyarlılık analizinin gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir.

BÖLÜM 2. URANYUM EKSTRAKSİYON KINETİĞİ

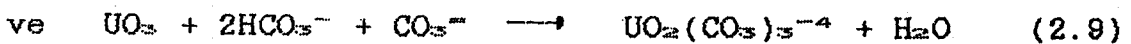
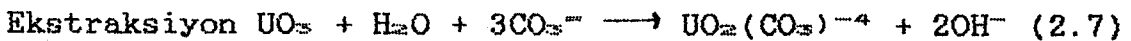
2.1. ÇÖZÜNÜRLÜK MEKANİZMASI

Uranyum asidik ve alkali yöntemlerle ekstrakte edilebilir. Bu yöntemlerden hangisinin kullanılacağına cevherin yapısı etki eder. Genelde asidik çözeltiler alkali sistemlere nazaran daha hızlı ekstraksiyon kabiliyetine sahiptir. Asit ve alkali çözücü sistemleriyle yapılan ekstraksiyon esnasında gerçekleşen reaksiyonlar oksidasyon ve kompleks teşekkülü olmak üzere iki ana kademede sınıflandırılabilir. Sülfürik asit ve karbonat iyonlarıyla ekstraksiyona ait reaksiyon denklemleri aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Sülfürik asit ekstraksiyon reaksiyonları :



Karbonatlı ekstraksiyon reaksiyonları :



Alkali ekstraksiyonda ekstraksiyonun düzenli yürüyüşünü sağlamak ve kararlılığı korumak gayesiyle ortama HCO_3^- ilavesi oluşan OH^- yüzünden gerekli görülmüştür. Zira reaksiyon esnasında oluşan OH^- pH'ı yükseltmektedir.

Oysa pH 11-12 civarına çıkınca uranyumun çökmeye başladığı, üstelikte oksitleyici olarak kullanılan H_2O_2 nin bunu bu koşullarda hızlandığı bilinmektedir [11,12]. (2.8) nolu reaksiyon gereği oluşan hidroksil iyonları tüketilmekte ve pH korunmaktadır.

Uranyumun gerek asidik, gerekse alkali ortamdaki çözünürlük mekanizması çeşitli araştırmacılarca incelenmiştir [11,12,14-18]. İlk araştırmalar UO_2 üzerinden yürütülmüş ve saf UO_2 peletlerinin çözünürlük kinetiği incelenmiştir. Bu çalışmalarda UO_2 nin çözünürlüğü çeşitli biçimlerde ifade edilmiştir. Bunlardan Pearson ve Wadsworth [19] ekstraksiyon mekanizmasını oksijen ve disosiye olmamış H_2CO_3 arasında yarışmalı (competitive) adsorpsiyon şeklinde olduğunu ileri sürerken, Schortmann ve De Sesa [20] farklı bir mekanizma önermiştir. Bu mekanizma 2 kademeli olup : U^{+4} 'ün U^{+6} 'ya oksidasyonu ve çözünen uranil karbonat kompleksinin teşekkülü şeklindedir. Nicol [21,22] ve Hiskey [13,23] gibi bazı araştırmacılar ise çözünme mekanizmasını elektrokimyasal modellere dayandırmışlardır. [6] nolu referansta bu modeller toplu olarak özetlenmektedir.

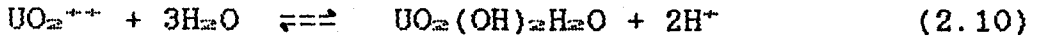
Son yıllardaki çalışmalarda ise uranyumun çözünme kinetiği daha gerçekçi bir yaklaşıma ulaşmak için doğrudan cevher içinde incelenmiştir [24-29]. Uranyumlu cevherlerle yapılan çalışmalarla daha önceki yıllarda UO_2 ile gerçekleştirilen denemelerin sonuçlarının genelde nispi bir uyumluluk gösterdiği görülmüştür. Bu nispi uyumluluğun asıl nedeninde cevherdeki diğer mineraller ve safsızlıklar olduğu gösterilmiştir.

2.2. ÇÖZÜNÜRLÜK HIZINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Uranyumun çözünürlüğüne etki eden çeşitli faktörler mevcutsa da yerinde uranyum ekstraksiyonuna yönelik çalışmalarda bu faktörler azalmaktadır [31]. Başlıca etkin parametreler aşağıda anlatılmıştır.

2.2.1. Asit ve Alkali Etkisi

Bölüm 2.1 de anlatıldığı üzere uranyumun cevherden çözündürülmesi gerek asidik, gerekse alkali çözücülerle mümkündür. Bu durumda çözünürlüğün en önemli kontrol mekanizması da pH'tır. Şekil 2.1 pH'nın uranyumun cevherden çözeltiye geçme verimine etkisini göstermektedir. Asidik ekstraksiyonda pH 1.0-2.0 aralığı optimum bölge olarak önerilirken, bu aralığın üstünde UO_2^{++} nin (2.10) nolu hidroliz reaksiyonu uyarınca çökmeye maruz kaldığı gösterilmiştir [31,28].

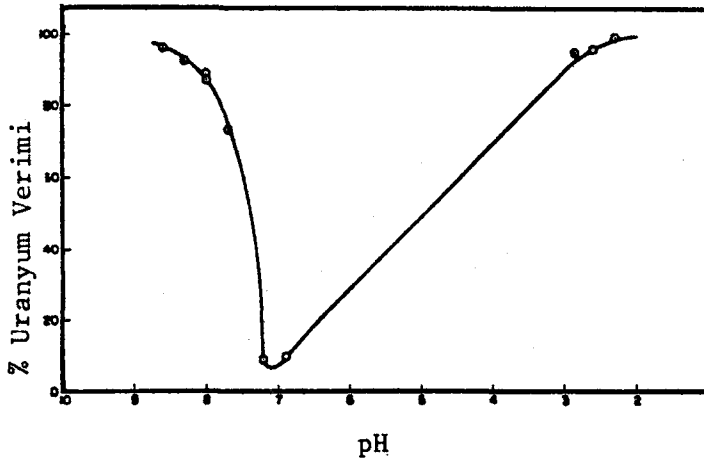


Alkali ekstraksiyonda ise pH'nın 12'nin üstünde olması durumunda da çökmenin başladığı gösterilmiştir [13]. Du Preez ve arkadaşları [12] ve daha birçok araştırmacı daha yüksek pH'larda çözünmüş olan $UO_2(CO_3)_3^{--4}$ ün $U_2O_7^{--}$ oluşturarak çöktüğünü göstermişlerdir.

Ancak Eligwe ve arkadaşları [28] bazı düşük tenörlü cevherlerden uranyumun H_2O_2 - Na_2SO_4 - H_2SO_4 kullanımıyla pH 4.0-6.0 aralığında da çözünebileceğini göstermişlerdir.

2.2.2. Çözücü Konsantrasyonunun Etkisi

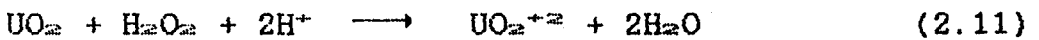
İster asidik isterse alkali ekstraksiyon uygulansın kullanılan liksiviantın konsantrasyonunun pH ile olan bağlantıları verime etki etmelerine yol açmaktadır. Ancak alkali ekstraksiyonda CO_3^{--}/HCO_3^- oranı verime etki etmektedir. [13,20] numaralı referanslarda belirtildiği gibi çeşitli araştırmacılar toplam karbonat konsantrasyonunun artışının ekstraksiyon hızını arttırdığını göstermişlerdir. Şekil 2.2 sabit bikarbonat konsantrasyonunda karbonat konsantrasyonunun ve Şekil 2.3 sabit karbonat konsantrasyonunda bikarbonat konsantrasyonunun artışlarında hızın değişimini göstermektedir.



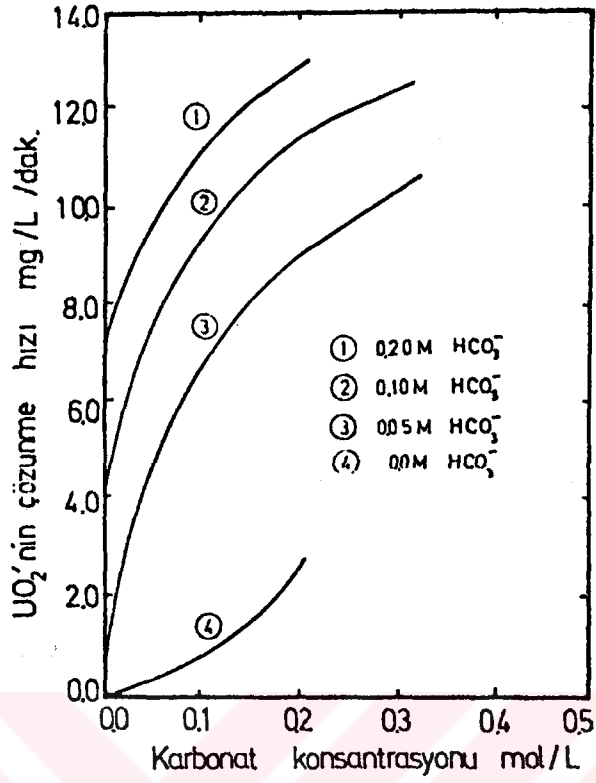
Şekil 2.1. Uranyumun Çözünme Verimine pH'nın etkisi [32].

2.2.3. Oksitleyici Etkisi

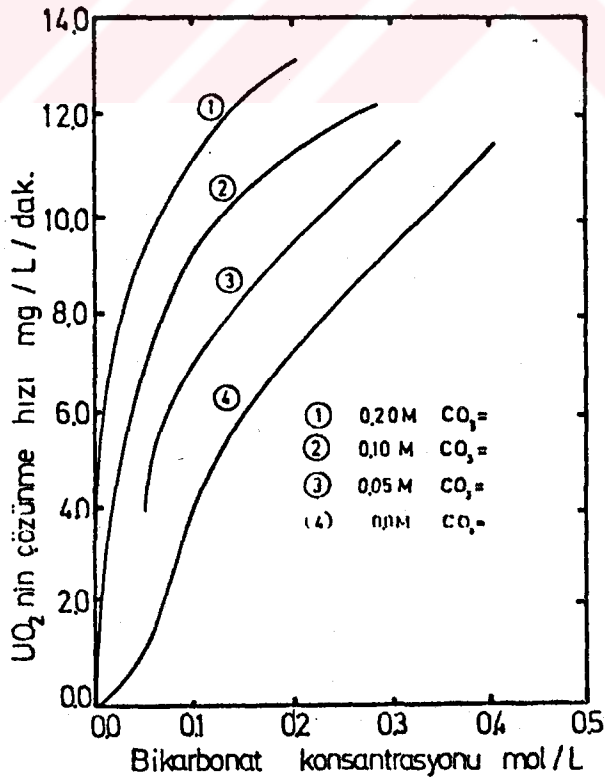
Uranyum ekstraksiyonunda oksitleyiciler, +4 değerlikli uranyumun +6 değerliğe yükseltilerek, çözündürülmesini sağlamak amacıyla kullanılır. Genelde asidik ve alkali ekstraksiyonlarda farklı oksitleyiciler kullanılır. En tanınmış asidik sistem oksitleyicileri NaClO_3 ve MnO_2 dir [27,28,30]. Ancak bu iki oksitleyici dolaylı yoldan, önce demiri +3 değerliğe yükselterek uranyumun oksidasyonunu sağlar. Çeşitli araştırmacılar diğer bazı mineral asitlerin, nitrik asit, Caro asidi (H_2SO_5) ve oksanın ($2\text{KHSO}_5 \cdot \text{KHSO}_4 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4$) da oksitleyici olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir [27,28,33]. Ancak Chutinara [27] H_2O_2 nin alternatif bir oksitleyici olduğunu ve (2.11) nolu reaksiyon uyarınca uranyumu oksitleyeceğini belirtmiştir.



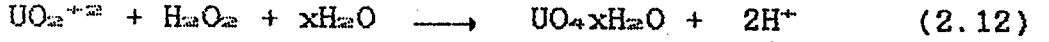
Aynı çalışmacılar yüksek H_2O_2 konsantrasyonlarında peroksitin (2.12) nolu reaksiyon uyarınca, uranyum peroksit oluşturduğunu hatırlatmışlardır. Bu reaksiyon sarı pasta üretiminde ticari amaçlarla kullanılmaktadır [34].



Şekil 2.2. Sabit Bikarbonat Konsantrasyonundaki Karbonat Konsantrasyonunun Etkisi [20].



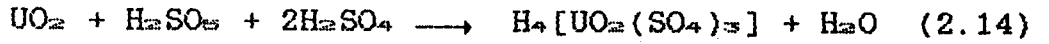
Şekil 2.3. Sabit Karbonat Konsantrasyonundaki Bikarbonat Konsantrasyonunun Etkisi [20].



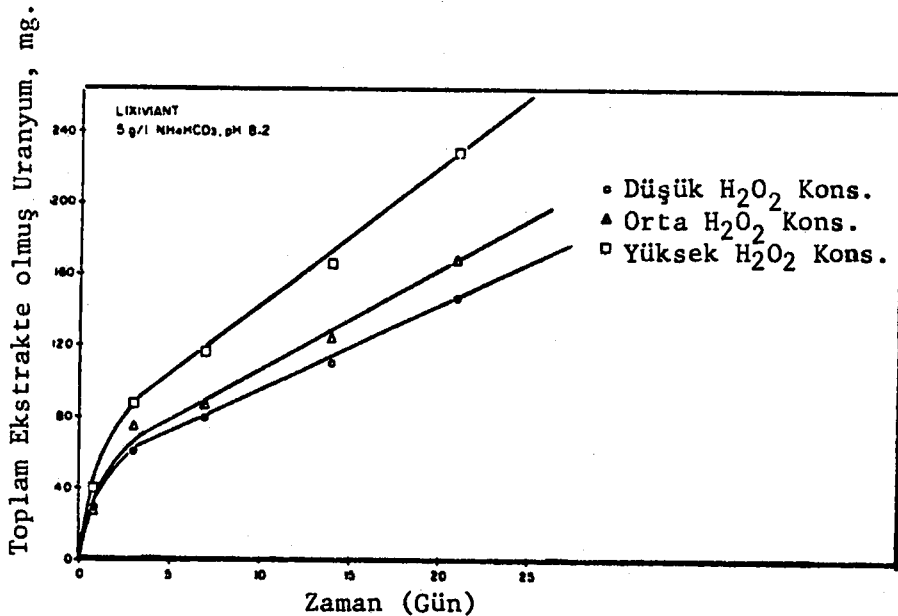
Son yıllarda Caro asid adıyla tanımlanan permonosülfirik asidin de (H_2SO_5) uranyum üretiminde kullanılması önerilmektedir [32]. Katalitik ayrışması, kararlılığı ve stabilitesi H_2O_2 den çok fazladır. H_2O_2 in soğutma altında sülfürik aside ilavesi ile elde edilir [35,36].



Caro asidi, +4 değerlikli uranyumu +6 değeriğe aşağıdaki reaksiyon uyarınca oksitler :



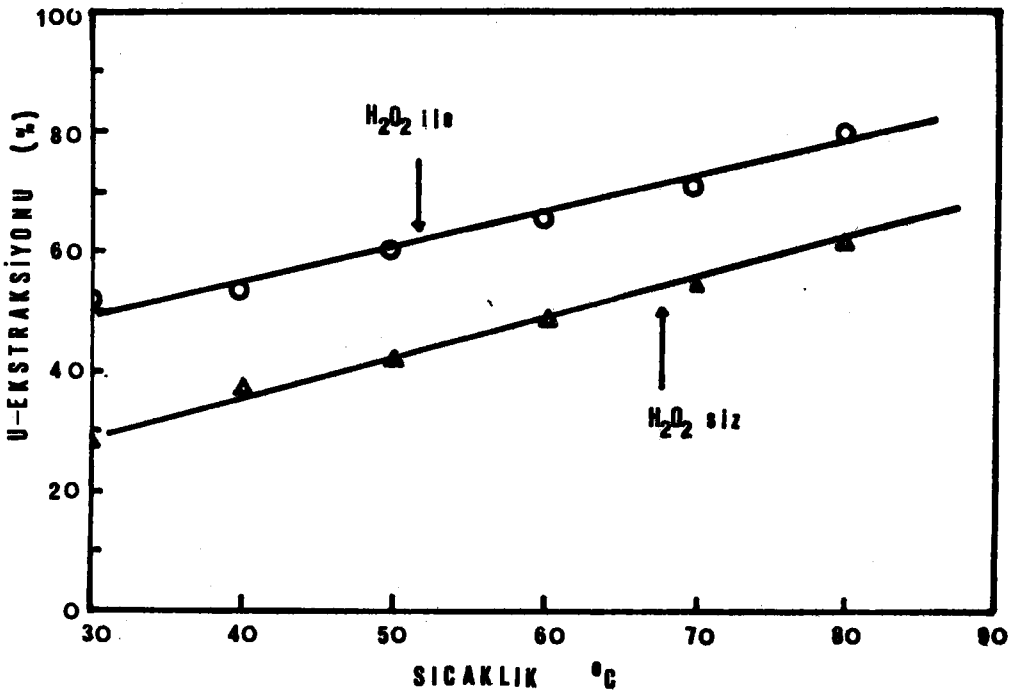
Alkali ekstraksiyon proseslerinde kullanılan oksitleyiciler ise O_2 ve H_2O_2 dir [19,22,23,32]. Ancak yerinde ekstraksiyonda H_2O_2 , O_2 'ye tercihen daha çok önerilmektedir. Bunun başlıca nedenleri sıvı olması, su ile istenen konsantrasyonda seyrelmesi, sonuç ürünlerinin su ve oksijen olması, basınç düzeneklerine gerek duymamasıdır. Bu özellikleri H_2O_2 i alkali ortamda ideal bir oksitleyici yapmaktadır. Şekil 2.4 alkali ortamda H_2O_2 konsantrasyon artışının verimi arttırışını göstermektedir.



Şekil 2.4. H_2O_2 Konsantrasyonunun Verime Etkisi [32]

2.2.4. Sıcaklık ve Basıncın Etkisi

Sıcaklık yerinde ekstraksiyon uygulamalarında kontrol altında olan bir faktör değildir. Sıcaklığın ekstraksiyon üzerine etkisi vardır, ancak bu etkinin incelenmesi, çözünme kinetiği üzerinde bilgi edinmek için faydalıdır. Çözünürlük mekanizmasını inceleyen tüm araştırmacılarca incelenmiştir. Bu çalışmalarda saf U_3O_8 kullanan Peters ve Halpern [42] aktivasyon enerjisini 51.5 kJmol^{-1} , Schortmann ve De Sesa [20] 56.1 kJmol^{-1} gibi değerler bulurken, Pearson ve Wadsworth [19] gerçek aktivasyon enerjisini 28.5 kJmol^{-1} , kompozit aktivasyon enerjisini ise 43.5 kJmol^{-1} mertebesinde bulmuştur. Son yıllarda cevher üzerine yapılan çalışmalarda ise Mattus ve Torma [26] atmosferik koşullarda düşük tenörlü cevher için 16.2 kJmol^{-1} (3.86 kcal/mol) bulurken, Eligwe ve arkadaşları [28] oksitsiz ortamda 13.96 kJmol^{-1} , oksitli ortamda 50°C a kadar 11.08 kJmol^{-1} , üstünde ise 3.85 kJmol^{-1} bulmuşlardır. Aktivasyon enerjisinin bu değerlerinden reaksiyonların difüzyon kontrollü gerçekleştiği sonucuna varmışlardır. Şekil 2.5 Sıcaklığın uranyumun ekstraksiyonuna etkisini göstermektedir.



Şekil 2.5. Uranyum Ekstraksiyonuna Sıcaklığın Etkisi [28].

Yerinde Uranyum Ekstraksiyon yönteminde basınç mevcuttur. Ancak basıncın etkisi oksitleyicinin O_2 olması durumunda geçerlidir. Klasik operasyonlarda basınçtan faydalanılması O_2 nin çözünürlüğünü arttırmak veya çözücünün buhar basıncını değiştirmek için gerekli olmaktadır. Yerinde ekstraksiyon uygulamasında oksitleyici olarak, sıvı bir oksidan olan H_2O_2 nin kullanımında, normal koşullarda basıncın etkili olması beklenmektedir.

2.2.5. Karıştırmanın Etkisi

Eary ve Cathles [18] uranyumun asid çözeltileri içinden oksitleyici kullanarak çözülmesinde karıştırmanın etkisini göstermişlerdir. Ancak yerinde ekstraksiyonda karıştırma yoktur. Çözücü basınç farkları sayesinde cevher içindeki poröz ortamda süzülerek akmaktadır. Buna karşılık karıştırırmalı ekstraksiyon çalışmalarının yerinde ekstraksiyona yönelik değerlendirilmesi için incelenmesi gereken bir faktör olmaktadır.

BÖLÜM 3. YERİNDE URANYUM EKSTRAKSİYONU

3.1. YERİNDE DEĞERLENDİRME YÖNTEMİ İLE URANYUM EKSTRAKSİYONU

Nükleer enerji alanında gerçekleşen hızlı gelişme, uranyumu son 40 yıl içinde önemli bir enerji minerali durumuna getirmiştir. Uranyumun teknolojisi oldukça yenidir. Ancak uranyum endüstrisi bu süre içinde, 1950'ler başında üretim yok iken 1980'de yaklaşık 44.000 t uranyum düzeyine ulaşarak hızlı bir gelişme göstermiştir [37,38]. Bu gelişmenin kararlı olduğu veya önceden öngörülebileceği söylenememekteyse de, bir takım tahminler çeşitli sınırlar içinde yapılmaktadır [37,39]. 1950 lerden itibaren artan talep üzerine, hızlandırılan arama çalışmaları ile 1960-62 döneminde sadece ABD de devreye alınan uranyum ekstraksiyon tesisi 26, yine aynı dönemde 1959 da Kanada'da devreye giren tesis sayısı ise 19 olmuştur. Programsız gerçekleşen bu hızlı artış bir çoğunun kapanmasına yol açmışken, 1970 enerji krizi, talebin tekrar artmasına yol açmıştır. 1980'lerde zirveye çıkan üretim, fiyatların 1 kg U_3O_8 için 1979'daki 84 dolarlık düzeyinden 1982 de 40 dolara inmesi ile tekrar bir duraklamaya girmiştir.

Bütün bu gelişmeler ve talepteki görülen kararsızlıklar değerlendirilecek uranyum rezervinin, devreye alınmadan önce iyice incelenmesi gereğini göstermektedir. Seçilecek uranyum değerlendirme yönteminin en ekonomik metod olması gerekmektedir. Rezerv tipine, tonajına bağlı olarak çeşitli konvansiyonel yöntemler uygulanmakta ve önerilmektedir [40-45], ancak düşük tonajlı, düşük tenörlü veya derinde bulunan rezervlerin değerlendirilmesi yeni teknikler ile ekonomik olarak mümkün olmaktadır. Tablo 1.1'in incelenmesi ülkemiz rezervlerinin bu son kategoriye

girdiğini işaret etmektedir. Bu yeni teknikler ise genelde cevher ve çözeltinin birlikte hareket ettiği sistemlerin aksine statik bir cevher, hareketli çözelti şeklinde olup; kısaca :

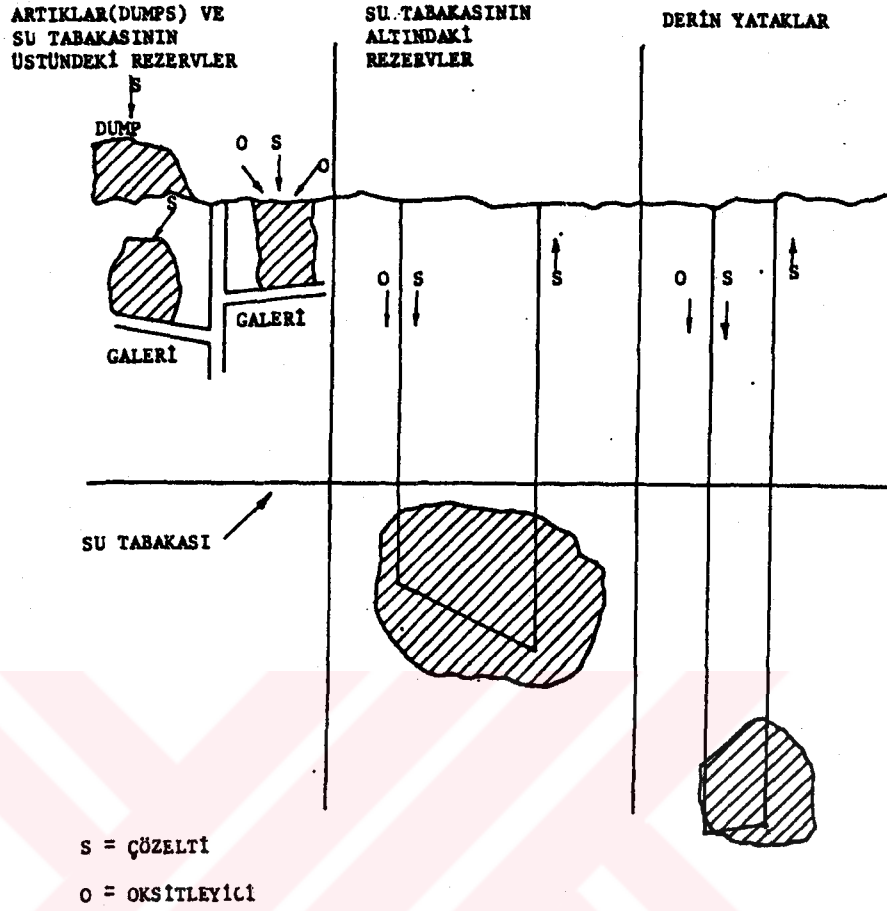
- 1- In Situ Leaching
- 2- In Place Leaching
- 3- Yığın (Heap) Leaching
- 4- Süzdürmeli (Percolation) leaching

şeklinde sınıflandırılabilir. Cevher yatağının fiziksel konumuna bağlı olarak uygulanan bu teknikler Şekil 3.1'de gösterilmektedir. Bu dört yöntemden birincisi olan In Situ leaching metodu genelde kumtaşı yapısındaki rezervlere uygulanmaktadır. Cevher jeolojik konumunda kalırken, çözücü cevher yatağını yatay olarak zorlayarak akar ve özellikle derinde bulunan rezervlere önerilir. Türkiye'deki rezervlerin en önemlilerinden biri olan Yozgat-Sorgun-Temrezli rezervi kumtaşı yapısı ve derinde konumlanması ile bu yönteme yatkın görülmektedir.

3.1.1. Yerinde Değerlendirme Yönteminin Tanımı ve Geçmişi

İngilizce literatürde "In Situ Leaching", "In Situ Mining", "Solution Mining", "In Situ Processes" terimleriyle tanımlanan "Yerinde Ekstraksiyon", "Yerinde Değerlendirme" yöntemi olarak dilimize uyarlanan bu yöntem yukarda sözü edildiği gibi bir statik-yatak leaching teknolojisidir. Bulundukları yer dolayısı klasik yöntemler ile ekonomik olarak ulaşılamayan madenlerin değerlendirilmesinde kullanılması ekonomik ve çevresel açıdan uygun bir yöntem olarak tanımlanır.

Larson [38] tarafından yapılan tanıma göre : genellikle yerinde uranyum ekstraksiyonu, çoğunlukla su tabakasının altındaki zon(lar)da bulunan cevherlere uygulanır. Seçimi yapılan çözücü (liksiviant) cevher yatağına enjekte edilir. Uranyum oksitlenerek, kompleks hale dönüştürülür ve çözelti hareket ettirilir. Zenginleşmiş çözelti



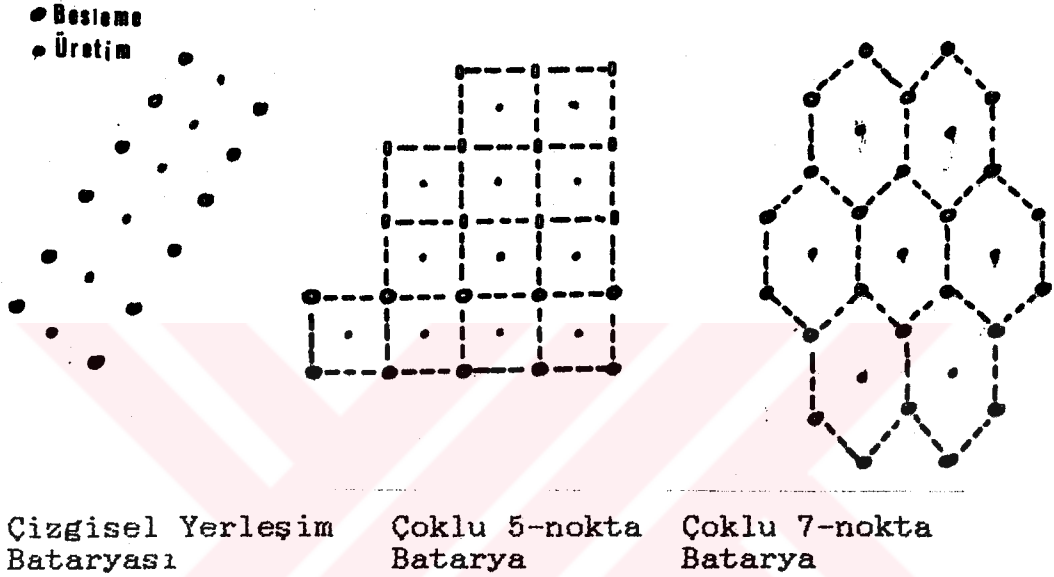
Şekil 3.1. Çözelti Madenciligi Uygulama Türleri [46].

Üretim kuyularından geri kazanılarak, uranyumca zenginleşmiş olarak yüzey işlem tesislerine gönderilir [38]. Uygulanan bu süreç esnasında maden yatağının kendisi bir reaktör görevi görür.

Bu güne kadar çeşitli tipte besleme-üretim kuyu konfigürasyonları veya bataryalar kullanılmıştır. En tanınmış batarya tipleri şekil 3.2'de gösterilmektedir. Şekil 3.3 ise yöntemin üç boyutlu temsili şeklini, bir uranyum yatağı için göstermektedir.

İlk ticari ölçek yerinde uranyum ekstraksiyon yöntemi Utah Construction and Mining Co. tarafından Wyoming eyaletindeki bir rezerve uygulanmıştır. Asit liksiviant kullanılan bu uygulama 1963 yılında başlamış ve 1969 sonuna

dek sürmüştür [38]. Uygulamanın yapıldığı rezerv uranyum mineralizasyonun mevcut olmadığı rollfront tipi bir kumtaşı cevheridir. Halen Avusturalya, Portekiz ve ABD de mevcut yerinde uranyum ekstraksiyon tesisleri Tablo 3.1 de görülmektedir [47]. Bunun haricinde Rusya ve Çin'de çeşitli uygulamaların olduğu tespit edilmiştir [48,49].

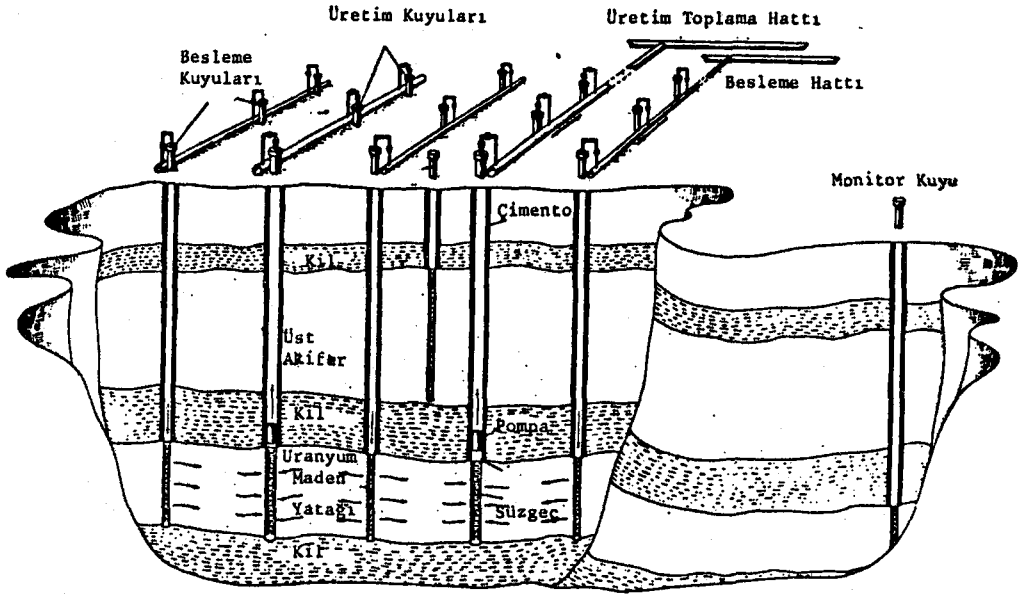


Şekil 3.2. Kuyu Yerleşim Modelleri [38]:

3.1.2. Üstünlük ve Sakıncaları

Pek çok araştırmacı yerinde ekstraksiyon yöntemini klasik yöntemlerle karşılaştırılmasını yapmıştır ve yöntemin üstünlük ve sakıncalarını göstermiştir [50-53].

Üstünlükleri: Emniyet ve sağlık açısından klasik madencilikten daha avantajlıdır. Yöntem gereği, maden yatağı bulunduğu yerde reaktör görevi gördüğünden herhangi bir artık madde problemi yoktur. Düşük sermaye yatırımı ve ayrıca işletmenin daha kısa sürede kendini amorti etmesinden dolayı daha ekonomik prosesler olarak ispatlanmıştır.



Şekil 3.3. Yerinde Uranyum Ekstraksiyonu Yöntemiyle Uretim Yapan Sahanın Şematik Gösterilişi [54]

Tablo 3.1. Dünyada Ticari Ölçek Yerinde Uranyum Ekstraksiyon Uygulamaları [47].

Ulke	Bölge	İşletici	Kapasite (t U/yıl)	Yıl
Avusturalya	Beverley	Western Nuc.Aust.	200	1988
"	Honeymoon	Mines Administ.	100	"
Portekiz	Urgeirica	ENU	15	1951
ABD	Bruni	Mobil	330	1977
"	Burns	U.S.Steel Corp.	400	1981
"	Clay West	US Steel/Niagara Mohawk	400	1975
"	Crow Butte	Ferret Exploration	-	1987
"	Hobson	Chevron Resources	400	1979
"	Las Palmas	Everest Minerals	100	1984
"	Palangane	Chevron Resources	-	1986
"	Trevino	Conoco	150	1981
"	Zamzow	IEC	100	1977

Sakıncaları: Proses sonunda yeraltı suyu kirlenmesi problemi ortaya çıkabilir, bu da restorasyon işlemini gerektirir [56-59]. Yöntem fiziksel ve kimyasal faktörler açısından her mineral türüne uygulanamaz. Maden yatağının yeterli geçirgenliğe sahip olması gerekir. Şayet maden sert kaya tipinde veya düşük geçirgenliğe sahipse, geçirgenliği arttırmak için ilave işlemlere gereksinim vardır [51,60].

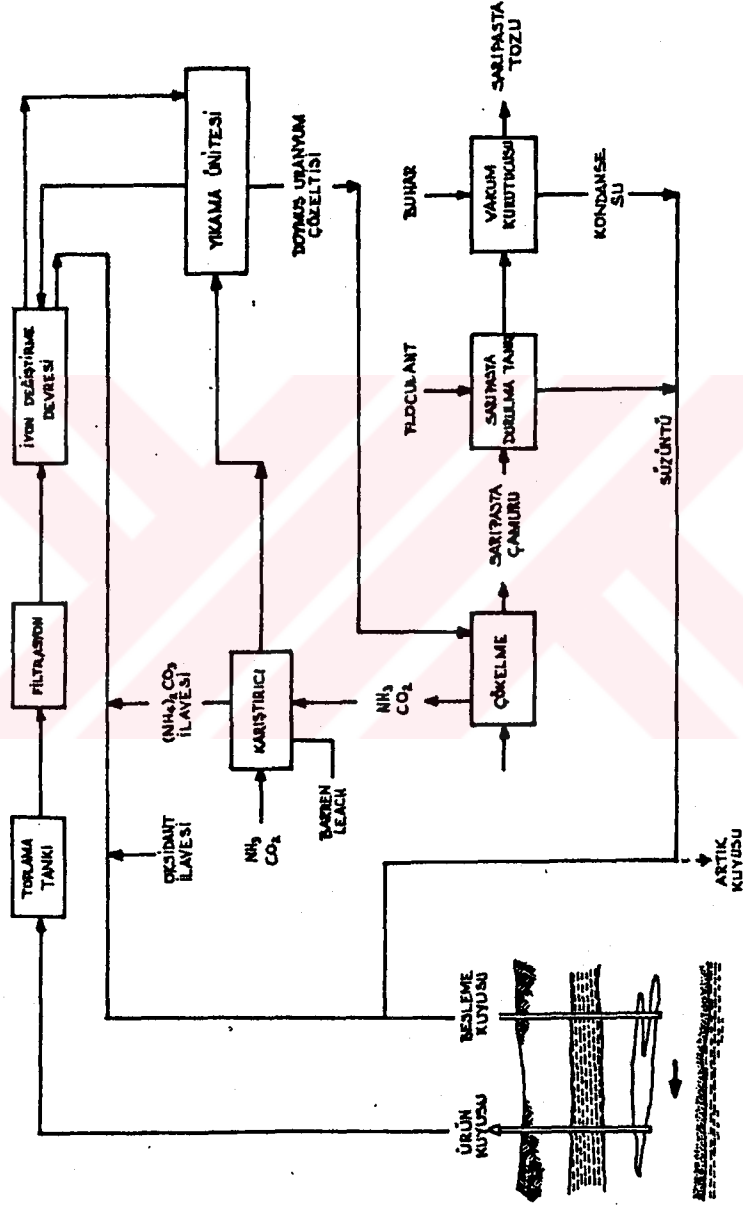
3.1.3. Uranyum Rezervlerine Uygulama

Sahip olduğu üstünlükleri ve ekonomik sebeplerle yerinde uranyum prosesinin uranyuma uygulanması konusu pek çok araştırmacı tarafından incelenmiş ve gerekli bilgiler derlenmiştir [61-66]. Şekil 3.4 te yerinde uranyum ekstraksiyon yöntemiyle alkali çözelti kullanarak sarı pasta üretimine kadar olan prosesin akım şeması görülmektedir.

Yöntemin uygulanması çeşitli adımları ve mühendislik disiplinlerini içermektedir :

- a) Cevher yatağında yerinde ekstraksiyon için hazırlık işlemleri (jeoloji),
- b) Ekstraksiyon çözücüsünün ve içerdiği iyonların kaya kütlesi ve gözenekleri içinden akışı (hidroloji),
- c) Minerallerin pahalı olmayan geri rejenere edilebilen ekstraksiyon çözeltileriyle yerinde ekstrakte edilmesi (jeokimya),
- d) Ekstraksiyon çözeltisinin kazanılması ve metal içeren bu kompleks çözeltilerden metallerin veya metalbileşiklerinin kazanılması (hidrometalurji),
- e) Kuyu tasarım ve akışın modellenmesi (Bilgisayar simülasyonu).

Tüm bu kademelerin değerlendirilmesiyle yerinde uranyum ekstraksiyon yönteminin ticari işletmelere uygulanması Montgomery [67], ve çeşitli araştırmacılarca değerlendirilmiştir [55,68]. Yerinde Uranyum ekstraksiyon parametreleri sonraki bölümde daha kapsamlı değerlendirilecektir.



Şekil 3.4. Yerinde Uranyum Ekstraksiyonu Yöntemine Ait Akım Şeması [55].

3.2. YERİNDE URANYUM EKSTRAKSİYONUNUN MODELLENMESİ

3.2.1. Modele Gereksinim

Bir uranyum madeninin yerinde ekstraksiyon yöntemiyle değerlendirilmesine kesin karar verebilmemize olanak sağlayacak pilot saha uygulaması, gerekli testlerin maliyeti yüzünden oldukça pahalıdır. Saha testinden önce laboratuvar ölçeğinde simülasyonlara ihtiyaç vardır. Böyle bir modele ihtiyaç duyulmasının başlıca nedenleri :

- a) Laboratuvar denemesinden elde edilen verilerin analizinde,
- b) Arazi denemelerinde elde edilebilecek sonucun öngörülmesinde,
- c) Pahalı bir yatırım olan pilot ölçekli çalışmaya geçişte daha sağlıklı bir karara varılmasında,
- d) Arazi çalışmalarında karşılaşılabilecek problemlerin önceden farkedilmesinde yardımcı olmasıdır.

3.2.2. Poröz Ortamda Kimyasal Taşınımın Modellenmesi

Çeşitli araştırmacılar bu konuda çeşitli simülatörler gerçekleştirmiştir [69-72]. Ayrıca birçok araştırmacı yerinde ekstraksiyon prosesinde uranyumun tek çözünen komponent olmadığını, dolayısıyla süreklilik eşitliğinin tüm bu komponentlerin hareketini göz önüne alarak ifade edilmesinin gerektiğini belirtmektedir.

Kossack [73] uranyumun yerinde ekstraksiyonu için 3 boyutlu bir simülasyonunun yapılabileceğini belirtmiş ve süreklilik ile Darcy kanununun birleştirilmesi ile i. komponent için elde edilen,

$$\nabla \left[\frac{B_i k S_i \rho_i \nabla \phi_i}{\mu_i} \right] + q_i = \frac{\partial}{\partial t} [\phi_i \cdot B_i \cdot S_i]_{i=1,2,3} \quad (3.1)$$

denkleminde yararlanarak bir model geliştirmiştir. Satter ve arkadaşları [74,75] poröz ortamda kimyasal maddenin hareketini yayılım, adsorpsiyon, desorpsiyon ve kimyasal hareketi göz önüne alarak açıklanabileceğini belirtmekte ve

$$D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - \frac{q}{A\phi} \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial C}{\partial t} + \left(\frac{1 - \phi}{\phi} \right) \rho_r \frac{\partial C_r}{\partial t} \quad (3.2)$$

şeklinde bir süreklilik eşitliği önermektedir. Satter ayrıca uranyum veya diğer komponentlerin çözünme reaksiyonu için kimyasal adsorpsiyonla ilgili Langmuir eşitliklerinden faydalanılması gerektiğini ileri sürmektedir.

Harloff [70] sadece uranyumun çözünerek poröz ortamda hareket edişini göz önüne almış ve süreklilik eşitliğini uranyum için

$$a U \frac{\partial^2 [UO_2^{2+}]}{\partial x^2} + u \frac{\partial [UO_2^{2+}]}{\partial x} + \frac{\partial [UO_2^{2+}]}{\partial t} = k[U(1v)] \quad (3.3)$$

şeklinde ifade etmiştir. Harloff burada ayrıca uranyumun katı faza geçişi ile ilgili kimyasal reaksiyonu 1. dereceden kabul ederek çözümlenebileceğini ileri sürmüştür.

Bommer ve Schechter [76] ise yerinde uranyumun ekstraksiyonunun modellenmesi için süreklilik eşitliğini

$$\alpha (\phi, \psi) \frac{\partial C}{\partial \phi} + \beta (\phi, \psi) \frac{\partial^2 C}{\partial \phi^2} - R = \phi \frac{\partial C}{\partial t} \quad (3.4)$$

şeklinde ifade etmektedirler. Eşitlikteki R, mineralin katı yüzeyinden oksidasyon ile oluşan ekstraksiyon hızı olup aşağıda verildiği gibi ifade edilmektedir;

$$R = k_r (W - W') (1 - \phi) \rho \quad (3.5)$$

Reaksiyon denkleminde anlaşılacağı üzere katı fazdan uranyumun çözünürlüğünü pseudo 1. dereceden kabul etmişler ve (W-W') miktarındaki uranyumun ancak cevherden kazanılabileceğini düşünmüşlerdir.

Lund ve Fogler [77] kumtaşı cevherinde asidin hareketini ve bu esnada çeşitli minerallerin çözünmesini incelemişlerdir. Bu araştırmacılar poröz ortamdaki bu katı-sıvı temasını dispersiyonu gözönüne almadan incelemişler ve,

$$\frac{\partial(\theta C_1)}{\partial t} + \frac{\partial(V C_1)}{\partial x} = (R_m + R_r)_1 \quad (3.6)$$

şeklinde bir süreklilik eşitliği ifade etmişlerdir. Lund ve Fogler bu süreklilik eşitliğinin belirli koşullar için çözülebileceğini ileri sürerek boyutsuz konsantrasyonlar ile analitik çözümün mevcut olduğunu göstermişlerdir.

Schechter ve Bommer [78] dispersiyonun mevcut olması durumunda süreklilik eşitliğinin analitik çözümünün zor olması nedeniyle, (3.6) nolu süreklilik eşitliğini incelemişlerdir. Bu çalışmalarında uranyumun katı fazdan çözünmesi olayını oksitleyicinin tüketim ve hareketi ile ifade ederek sonuca ulaşmaya çalışmışlardır. Lund ve Fogler'in çözümlerinin $\theta=0$ da $\psi=1$ başlangıç koşulunun sağlamadığını görmüşler ve çözümün bir yaklaşım olduğunu göstermişlerdir.

Bu arada Galichon ve arkadaşları [71] Lund ve Fogler ile Bommer ve Schechter'e benzer bir yaklaşım yaparak süreklilik eşitliğini yayılımı dikkate almadan poröz ortamda lineer akış ile belirleyerek uranyumun katı fazdan çözeltiyeye geçişini

$$\theta \frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = - \frac{\partial W}{\partial t} (1-\theta) \rho_{cmv} \quad (3.7)$$

şeklinde önermişlerdir. Burada katı fazdan uranyumun

çözünme hızı

$$\frac{\partial W}{\partial t} = -k (W - W') \quad (3.8)$$

şeklinde olup Bommer ve Schechter'ce de açıklanan tarzdadır. Galichon belirli koşullarda bu eşitliğin analitik çözümünün mevcut olduğunu göstermiştir.

Yerinde uranyum ekstraksiyon yöntemine yönelik gerçekleştirilecek bir modelde, kütle dengliğiyle ilgili geliştirilen bu eşitlikler haricinde, gözenekli ortamda akışkan akımının modellenmesi ve kuyuların uygun tasarımı gereklidir. Birçok araştırmacı bu amaçla süreklilik denkleminde ve Darcy kanunundan hareket ederek gözenekli ortamda besleme ve ürün kuyuları arasındaki kararlı hal akış denklemlerini geliştirerek çözmüşlerdir [6,79,81]. Bu geliştirilen model tanımlı yapılan bir bölgedeki akışı besleme ve ürün alma debilerine, basınca ve hidrolik iletkenliğe bağlı olarak belirlemektedir.

3.2.3. Yerinde Ekstraksiyona Yönelik Deney Tasarımı

Önceki iki bölümde, her hangi bir cevhere yerinde uranyum ekstraksiyonunun uygulanması için neden bir modele gerek duyulduğu ve bu modellerin neler olabileceği anlatılmıştı. Doğrudan arazi üzerinde deneme yapmanın güçlüğü yüzünden laboratuvar ölçekli deney sistemlerine ihtiyaç vardır. Yerinde uranyum Ekstraksiyonu Yönteminin bir sürdürmeli ekstraksiyon olması yüzünden, bu amaca yönelik en uygun deney düzenegi kolon ekstraktörleri olmaktadır. Pek çok araştırmacı bu fikir üzerine anlaşılmış ve bu tür düzenekler kurarak deney yapmıştır [57,69,71,72]. Harloff ve Riese [70] ise 3 boyutlu bir simülatör yaparak akışın 3 boyutlu ortamda ki incelemesini yapmıştır.

3.2.4. Deney Sonuçlarının Araziye Uygunluğu

Yerinde uranyum ekstraksiyonu yöntemine yönelik yapılan deney sonuçları 2 şekilde değerlendirilmeye tutulmuştur. Birincisi Galichon ve arkadaşlarının [71] yaptığı, model sonuçlarının deney sonuçları ile uyumluluğudur. Bu denemelerde çeşitli faktörlerin göz ardı edilmek zorunda kalınması, deney sonuçlarının belirli koşullarda modelle uyumluluk göstermesine yol açmaktadır. İkincisi ise deney sonuçları ile arazi sonuçlarının karşılaştırılmasıdır. Nigbor ve arkadaşlarınca [72] arazi ve laboratuvar çapında yapılan çalışmalar, laboratuvar sonuçlarının arazi sonuçlarıyla uyumluluğunu göstermektedir. Ancak tüm bu konuda çalışan araştırmacılar, bu tür denemelerin ticari uygulama öncesi pilot ölçek çalışmaya geçmeden zorunlu olduğu konusunda hem fikirdir.

BÖLÜM 4. DENEMELER

4.1. DENEY DÜZENEKLERİ VE KULLANILAN CİHAZLAR

Yozgat-Sorgun-Temrezli uranyum rezervinin yerinde ekstraksiyon yöntemiyle değerlendirilmesine karar verme adımlarının en önemlilerinden biri ; laboratuarda gerçekleştirilen teknolojik çalışmalardır. Laboratuvar ölçekli teknolojik çalışmalar da, 3 kademede gerçekleştirilmektedir; bunlar :

- Çözücü Optimizasyonuna yönelik ekstraksiyon denemeleri,
- Basınç ve sıcaklık parametrelerinin tayinine yönelik ekstraksiyon denemeleri,
- Kolon ekstraksiyon denemeleridir.

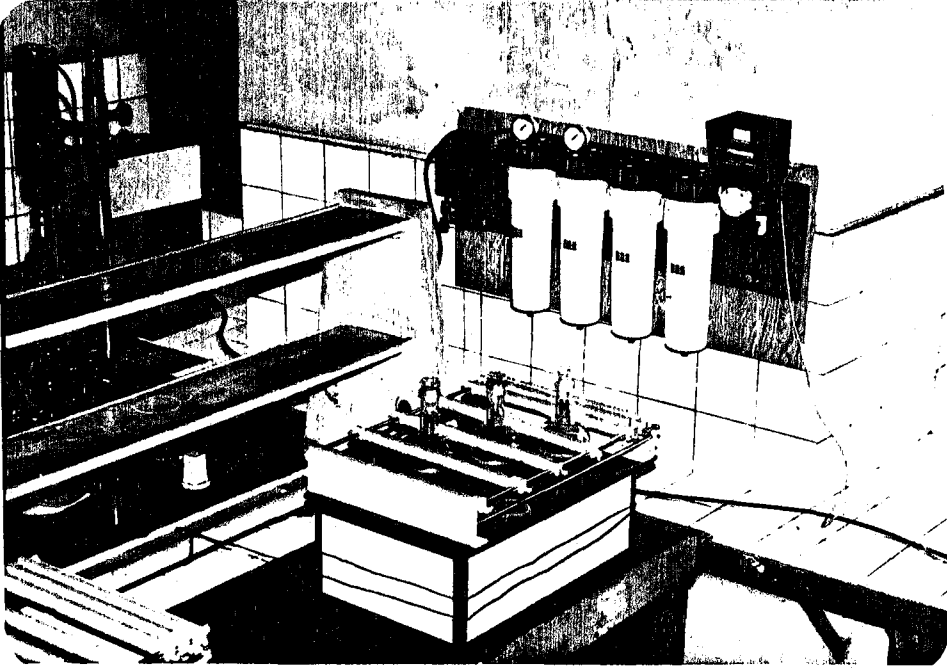
Bu denemelerde kullanılan cihazlar aşağıdaki bölümlerde anlatılmıştır.

4.1.1. Çalkalayıcı Ekstraksiyon Düzenegi

Yukarıda belirtildiği üzere, ekstraksiyon çözücü sisteminin optimizasyonunda Şekil 4.1 de fotoğrafı verilen SM-1 tipi Edmund Buhler marka çalkalayıcı kullanılmıştır. Aynı anda 12 adet 500 ml'lik dibi düz balon veya erlen taşıma kapasitesi olan bu çalkalayıcı istenen çeşitli hızlarda dairesel dönüş sağlayabilmektedir.

4.1.2. Magnetik Karıştırıcı Otoklav Düzenegi

Çalkalayıcı kullanılarak yapılan ekstraksiyon denemeleri sıcaklık ve basınç faktörlerinin tesbitinde

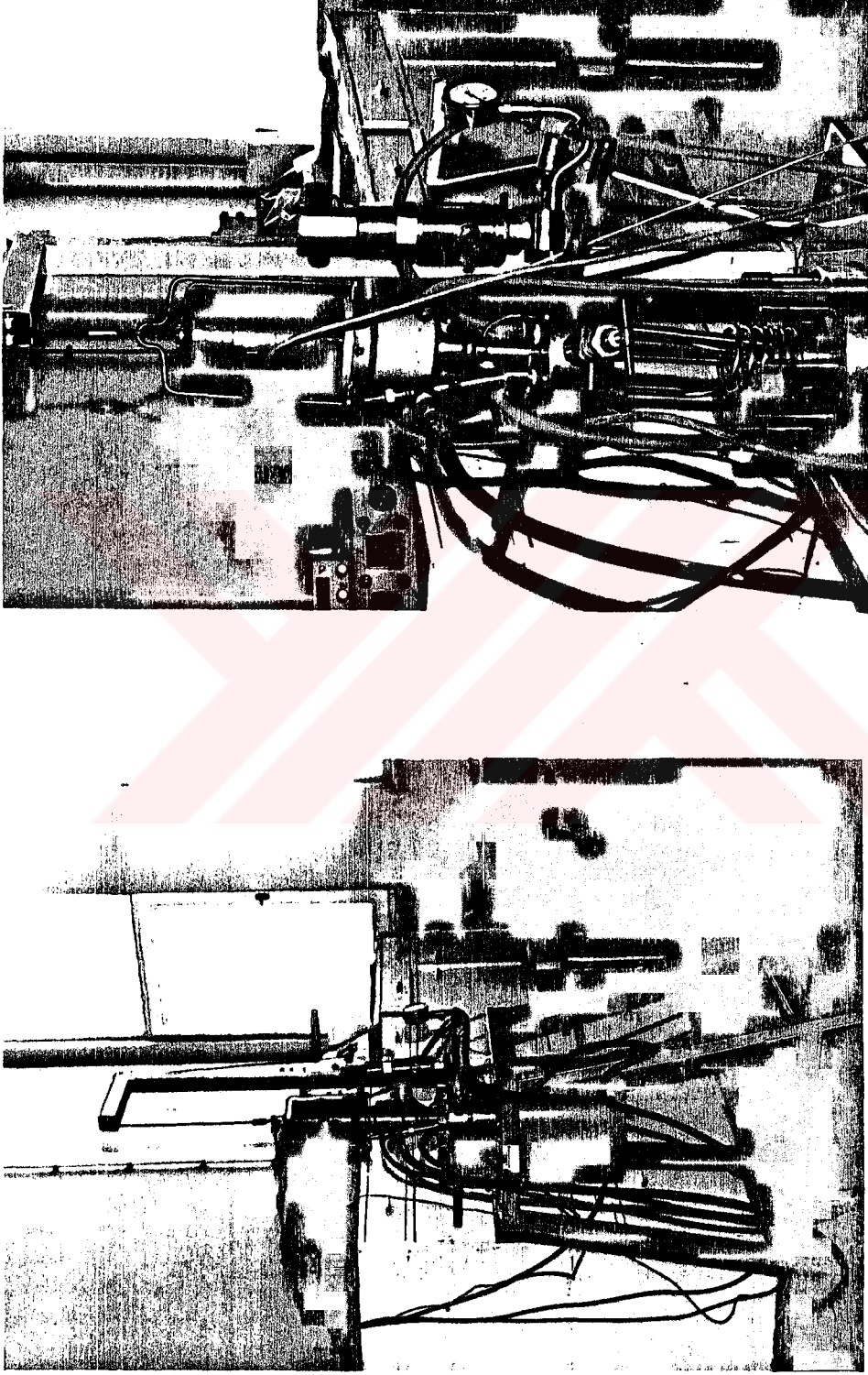


Şekil 4.1. Çalkalayıcı Ekstraksiyon Düzenegi.

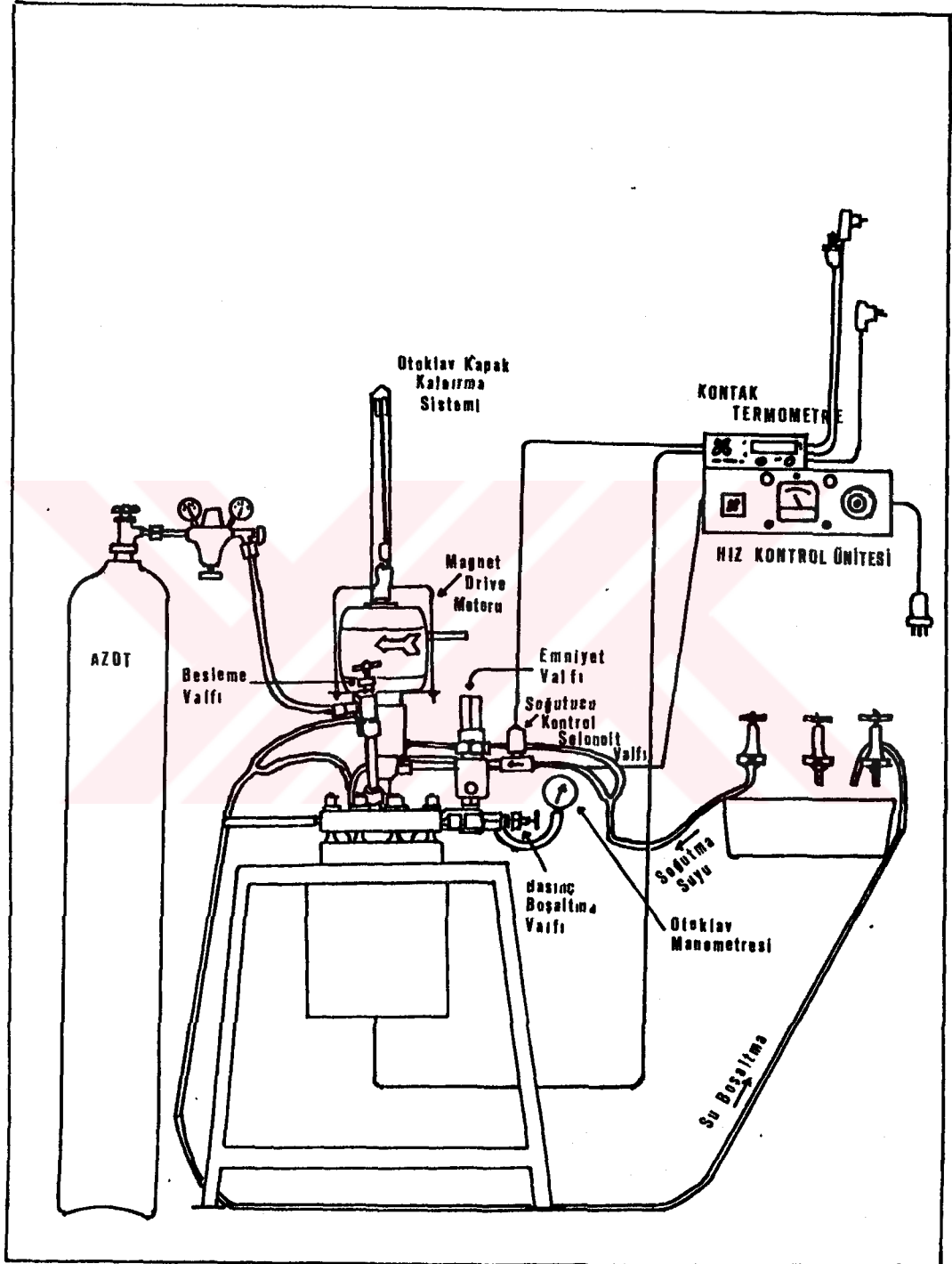
yetersizdir. Kinetik çalışmalarda bu iki faktörü incelemek için otoklavdan faydalanılmaktadır. Kullanılacak otoklavın kinetik incelemeye imkan sağlayacak özellikleri olması gereklidir, ki bunlar kısaca:

- Ekstraksiyon yürüyüşünü takip için çözücünden numune alınabilmesi,
- Hassas sıcaklık, basınç, karıştırma ölçüm ve kontrollü olabilmelidir.

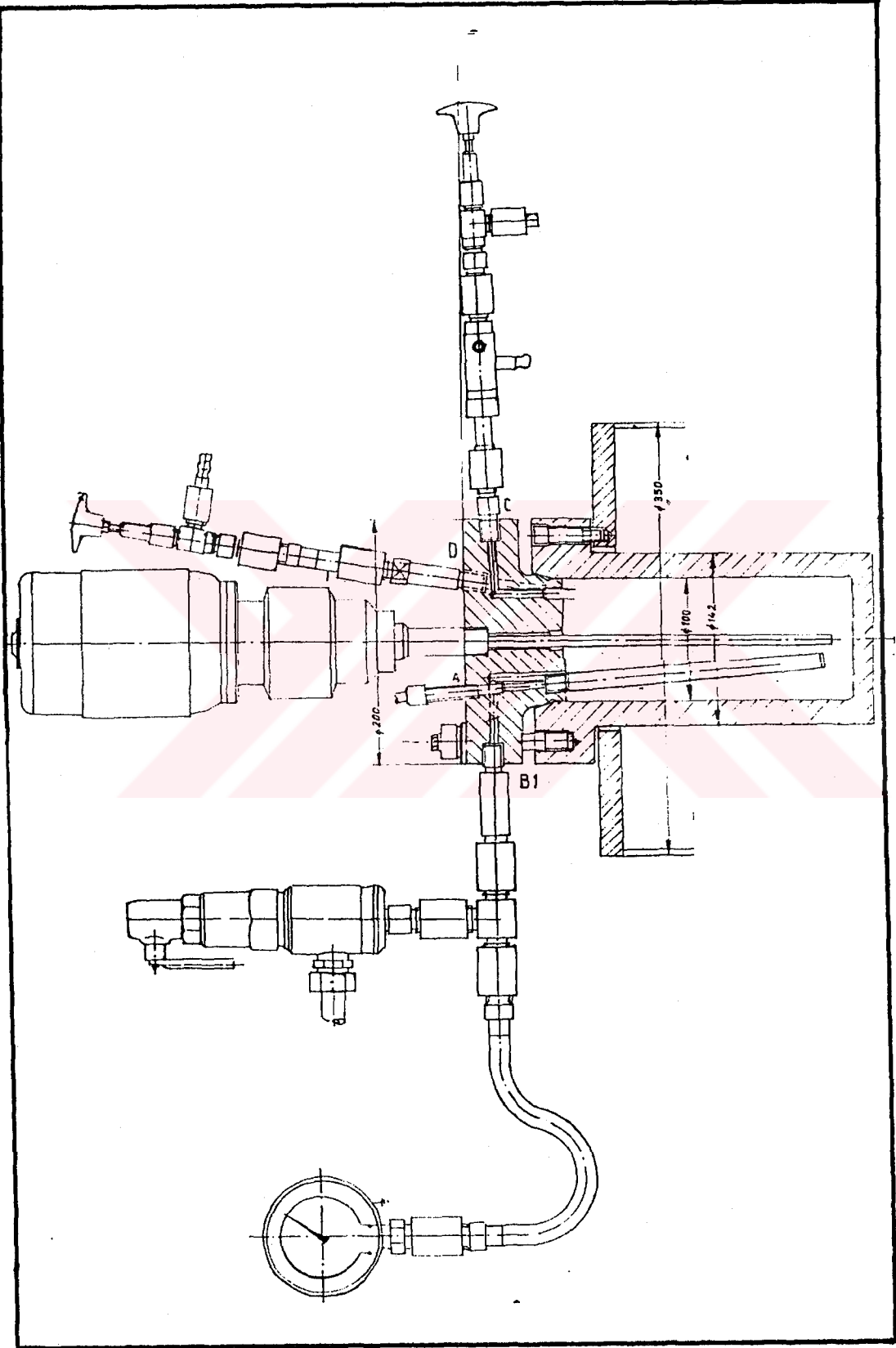
Istenen özelliklere sahip bir otoklavın bölümümüzde mevcut olmaması yüzünden tasarımı yapılarak, Erikman Kardeşler firmasına imal ettirilmiştir. Şekil 4.2 deki fotoğraflarda söz konusu otoklav sistemi ana bağlantı ve yardımcı elemanları ile birlikte görülmektedir. Şekil 4.3 ve 4.4 de ise teknik özellikleri ve donanımları, daha ayrıntılı olarak gösterilmiştir. 316 paslanmaz çelik malzemenin kullanıldığı otoklav, istenilen yüksek basınç ve 400 °C a kadar, istenilen basınç ve sıcaklıkta çalışabilmektedir. Karıştırma 3200 rpm'e kadar ayarlı bir magnetik karıştırıcı ile sağlanmaktadır. Sıcaklık biri içten spiral ısı değiştirici diğeri dıştan 3 kw'lık bir elektrikli



Şekil 4.2. Magnetik Karıştırıcılı Otoklavın Değişik Fotoğrafları.



Şekil 4.3. Magnetik Karıştırıcılı Otoklav.



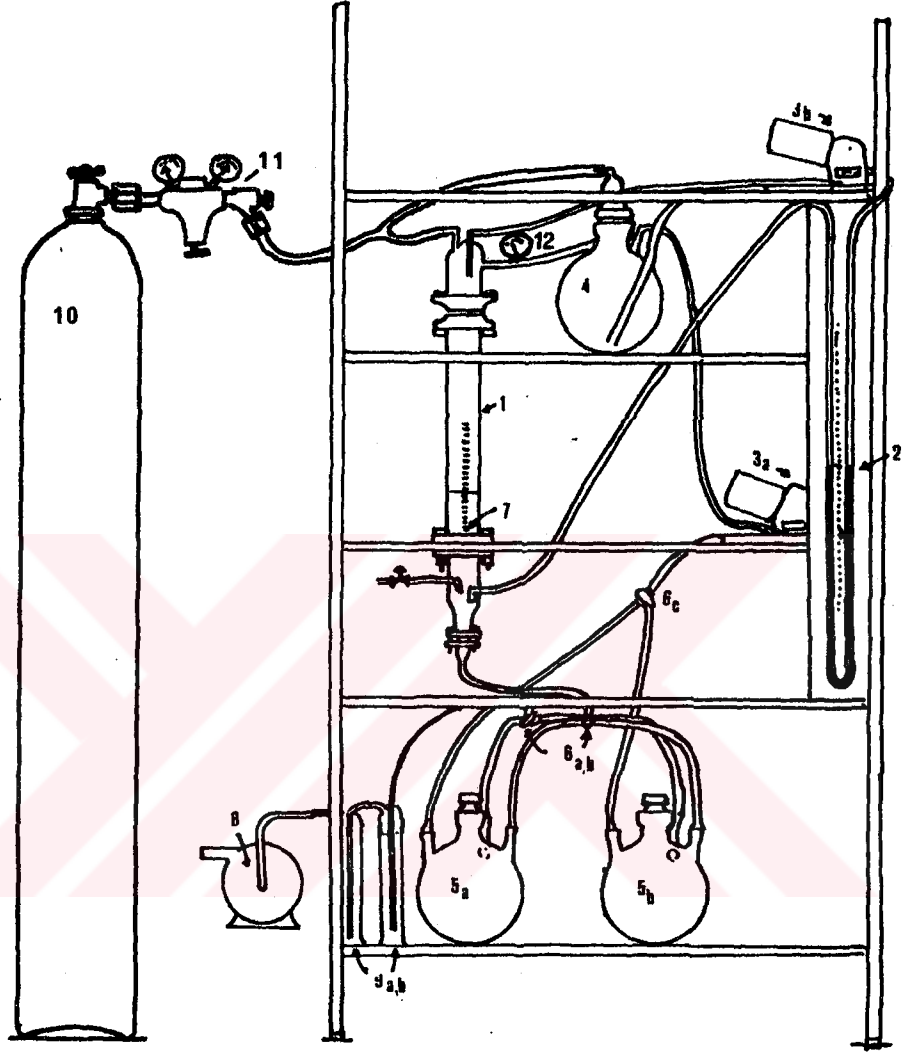
Şekil 4.4. Magnetik Karıştırıcı Otoklavın İç Yapısı.

ısıtıcı ile kontrollü olarak ayarlanmaktadır. Reaktör çalışma hacmi 1 ve 2 lt'lik iç kaplarla ayarlanmaktadır. Düzenekte ayrıca sıvı numunesi almaya imkan veren bir kör tapa, 2 adet çok amaçlı basınçlı iğne valf, güvenlik amacıyla bir emniyet sübabı ve sıcaklık ölçümleri için bir ısılcıft yuvası bulunmaktadır.

4.1.3. Kolon Ekstraksiyon Düzenegi

Yerinde ekstraksiyon yöntemine yönelik teknolojik çalışmaların en önemli aşaması, yer altı şartlarına uyarlanmış denemelerdir. Bu tür denemeler laboratuvar ölçekli simülatörlerde en son aşama denemelerde faydalı bir yöntem olup, arazinin modelinde 3 boyutlu çalışma imkanı sağlar [70], ancak bu tür düzeneklerin büyük miktarda numuneye ihtiyacı vardır. Kolon düzenekleri tek boyutlu bir simülatör gibi düşünülür. Nigbor ve arkadaşları [72] gibi birçok araştırmacı tarafından da 2.5 cm çapındaki kolon ile alınan deney sonuçlarının arazi sonuçları ile karşılaştırılınca özellikle kalitatif uyumluluk gösterdiği belirlenmiştir. Önceki bölümlerde de anlatıldığı gibi Yozgat-Sorgun-Temrezli uranyum rezervinin değerlendirilmesine karar vermede kolon ekstraktöründen faydalanma amaçlanmıştır.

Kimyasal parametreleri önceki kısımlarda anlatılan, düzeneklerde belirlenen çözücülerin sabit bir yatak içindeki gözenekli ortamda denenerek optimizasyonunun yapılabileceği bir kolon ekstraktörü tasarlanmıştır. Şekil 4.5 de görülen kolon ekstraksiyon ünitesi literatürde uygunluğu ispat edilmiş kolon düzeneklerine benzer şekilde 3.72 cm iç çapında 30 ve 60 cm uzunluğundadır. Sistemde MTA dan temin edilen Yozgat-Sorgun-Temrezli cevherinin kısıtlı miktarda olması yüzünden 30 cm'lik kolon kullanılmıştır. Çözeltinin gözenekli ortamdaki akışı alttan vakum veya üsten basınç uygulanarak sağlanmaktadır. Çözelti deposundan bir mikro pompa yardımıyla kolona transfer edilmektedir. Çözelti akış hızı cevher üstünde göllenme kriteri



- | | | | |
|---------|-----------------------------------|-----|-------------------|
| 1. | Kolon | 7. | Elek |
| 2. | U-Manometresi | 8. | Vakum Pompası |
| 3a,b. | Besleme ve Geri Besleme Pompaları | 9. | Nem Kapanları |
| 4. | Ana Çözelti Deposu | 10. | Azot Tüpü |
| 5a,b. | Depolama Tankları | 11. | Gaz Regülatörü |
| 6a,b,c. | T-Valfleri | 12. | Basınç Göstergesi |

Şekil 4.5. Kolon Ekstraksiyon Ünitesi.

göz önüne alınarak ayarlanmaktadır. Basınç düşüşleri, 1 atm'in altında bir civalı U manometresi, diğer hallerde basınç göstergesi yoluyla belirlenmektedir. Şekil 4.6 da düzenegin fotoğrafı görülmektedir.

4.1.4. Deneylerde Kullanılan Diğer Cihazlar

- Spektro fotometre: Uranyum analizleri için Şekil 4.7 de fotoğrafı görülen Amerikan yapımı Hawlett-Packard marka 8452 A Diode Array spektrofotometre kullanılmıştır. 220 ile 820 nm dalga boyları arasında tarama yapılmaktadır. İlk çalışmalarda Coleman 6/35 Junior II model, 325-625 nm arasında her hangi bir dalga boyunda absorban ölçen bir başka Amerikan yapımı spektrofotometre de kullanılmıştır.

- X-Işınları Difraktometresi: Hollanda malı olup Philips markadır.

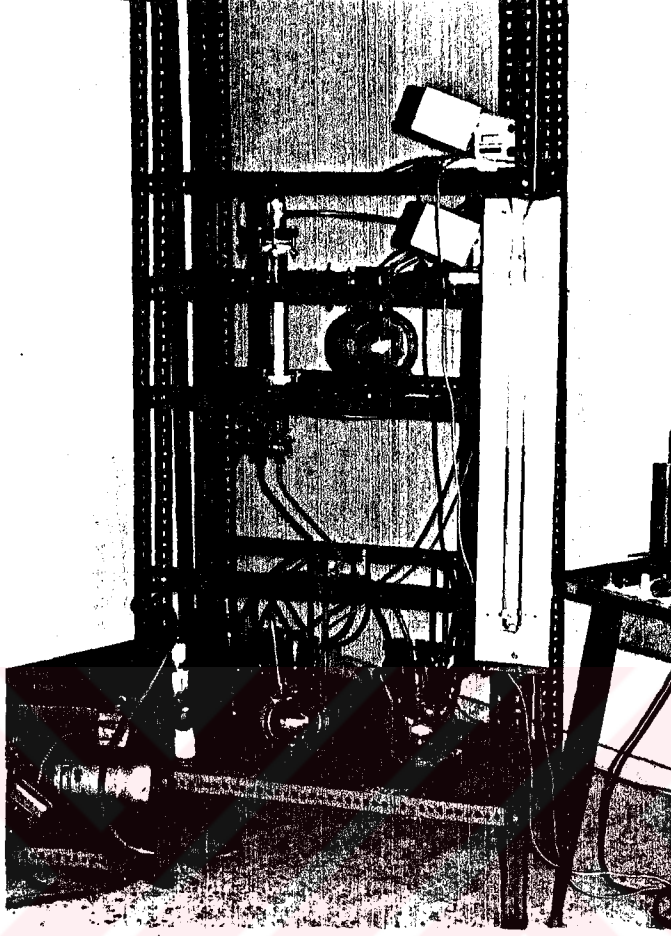
-Tarama Elektron Mikroskopi: Jeol T330 model tarama mikroskopi Japon malıdır.

- pH Metre: Metrohm E 510 Precision model pH için EA 120 kombine cam elektrod ile çalışmaktadır. pH, mv ve iyon ölçüm olanağı vardır. pH ölçümde 0-14 aralığında 0.1 entervalli kaba ve 0.01 hassasiyetli okuma imkanı vardır. Alman malıdır.

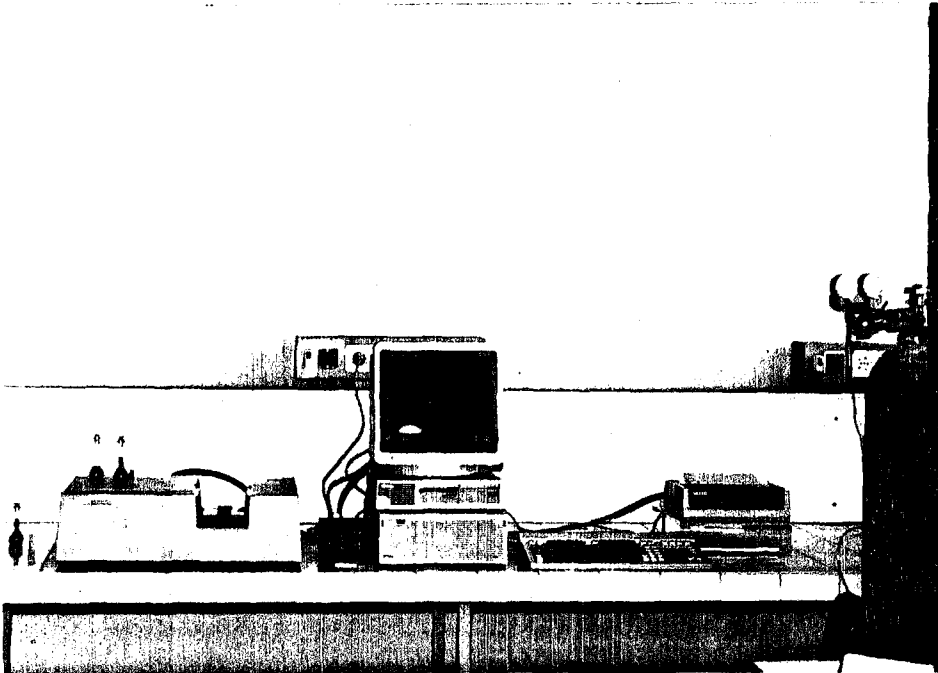
- Eldivenli Kutu: Çeşitli inert atmosfer koşullarında yürütülecek cevher hazırlama, kurutma ve cevher tartımları için tasarlanarak, Erikman kardeşler firmasında imal ettirilmiştir. İç atmosfer koşullarının korunması için Şekil 4.9 deki fotograftan da görüleceği gibi 2 kademelidir. Gaz giriş ve çıkışları için çeşitli vanaları, iç aydınlatma ve elektrik bağlantıları mevcuttur.

- Hassas Teraziler: Alman yapımı iki farklı terazi kullanılmıştır:

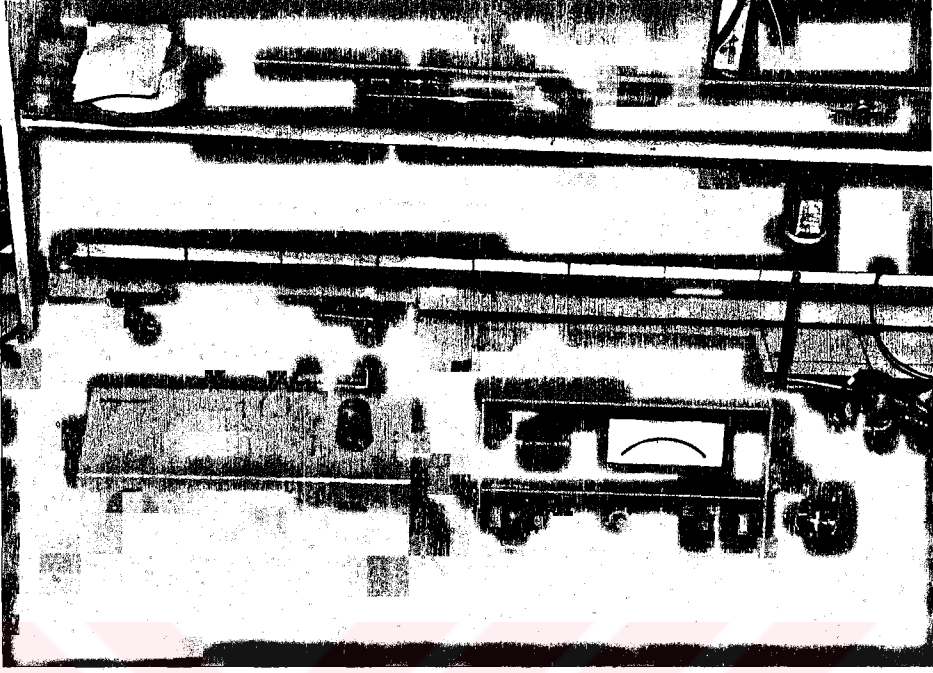
a) Kern marka; 1/10000 hassasiyetli maksimum 200 g



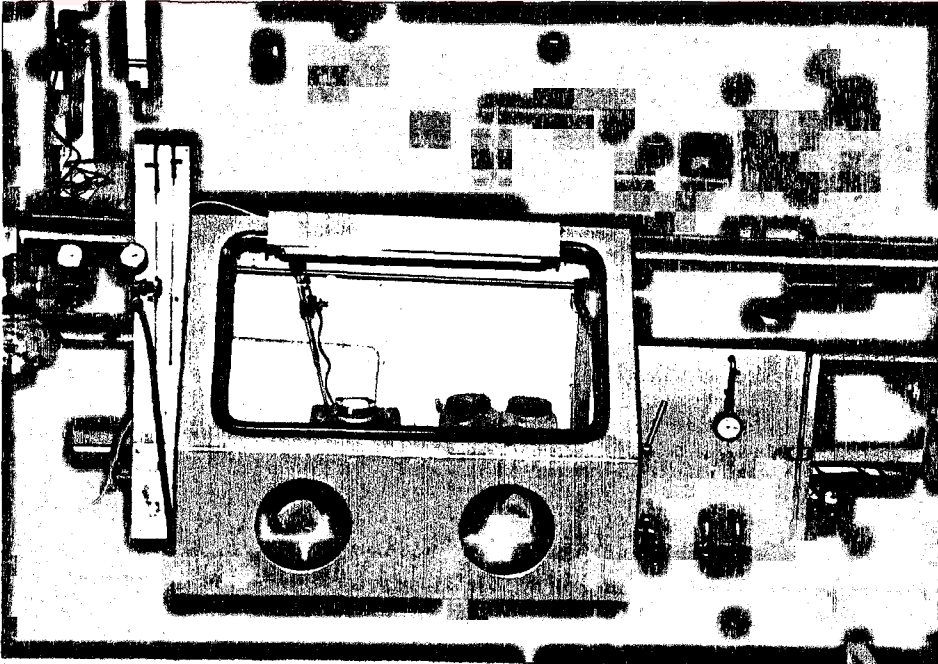
Şekil 4.6. Kolon Ekstraksiyon Düzenegi.



Şekil 4.7. HP 8452 A Diode Array Spektrofotometre.



Şekil 4.8. Coleman Junior Spektrofotometre ve pH Metre.



Şekil 4.9. Eldivenli Kutu.

tartım kapasitelidir.

b) Sertarious marka; 1/1000 hassasiyetli maksimum 300 g tartım kapasitelidir.

- Otomatik Pipet: 1-1000 mikrolitre kapasiteli, Amerikan yapımı ayarlı Oxford markadır.

- Şırıngalar: 2.5 ve 10 ml'lik hacimlerde, otoklavdan numune alımları için kullanılan muhtelif markalardır.

- Ayarlı ve Sabit Dispansetler: Özellikle uranyum analizlerinde kullanılan dispansetlerin ayarlı olanları Alman yapımı Brant markadır. 0-5 ve 0-10 ml'lidir. Sabit dispansetler Borucam firmasına yaptırılmış olup 2 ve 5 ml'lik sabit hacimli cam elemanlardır.

4.2. ANALİZ YÖNTEMLERİ

4.2.1. X-Işınları Yöntemi

Cevherin minerolojik yapısını aydınlatmak üzere, koni yöntemiyle alınan ve cevheri karakterize eden belirli miktardaki numuneden, $\text{CuK}\alpha$ radyasyonu kullanılarak x-ışınları difraksiyonu ile analiz edilmiştir. Difraksiyon diyagramlarındaki verilerle A.S.T.M. kartlarındaki veriler karşılaştırılarak mineralojik yapı aydınlatılmıştır.

4.2.2. Elektron Mikroskopisi Yöntemi

Elektron mikroskopik analiz yöntemi son yıllarda geliştirilmiş bir analiz yöntemi olup özellikle minerolojik tetkiklerde çok iyi sonuçlar vermektedir [82]. Bu yöntemle numune üzerine gönderilen elektron demeti sayesinde uyarılan numuneden çıkan sinyaller alınarak görüntü oluşturulmaktadır. Yalıtkan bölgeler içeren numune üstü

genellikle karbon ile ince bir iletken tabaka oluşturacak biçimde kaplanır. Bu tabaka fotografik ayrıntıları örtmeden orjinal halde görülmelerine olanak sağlıyacak kadar ince tutulur. Numune zerine değişik gte gönderilen elektron demetleri sayesinde numunede tarama yoluyla mevcut atom türleri ve bunların bulundukları bölgeler miktarca ve görüntü olarak tespit edilir. Kantitatif analiz sadece tarama yapılan yüzey için geçerli olmaktaysada, taranan yüzey alanı çoğaltılarak numunenin yapısı hakkında bilgi edinilebilmektedir. Tarama haritaları çıkarılan atomların yoğunlaştıkları bölgeler karşılaştırılarak ve x-ışınları difragtogramlarından faydalanarak numunedeki mineral türleri de tespit edilebilmektedir.

4.2.3. Bromo-PADAP Yöntemi

Johnson ve Florence [83] tarafından önerilen bu yöntem, uranyumun çözeltiden analizinde kullanılan en hızlı ve güvenilir, spektrofotometrik yöntemlerden birisidir.

Kullanılan zeltiler

1. Kompleks zelti: 25 g CyDTA, 5 g NaF ve 65 g sülfosalisilik asitin 800 ml destile sudaki çözeltisinin % 40 lık NaOH ile pH 7.85 e ayarlanması sonucu 1 litreye tamamlanması ile elde edilir.

2. Tampon zelti (pH = 7.85): 149 g trietanol aminin 800 ml sudaki çözeltisinin, perklorik asitle pH'sının ayarlanması sonucu su ile litreye tamamlanarak hazırlanır.

3. Bromo-PADAP zeltisi (% 0.05): Bromo-PADAP'ın teknik etanoldaki zeltisi.

Analiz edilecek çözeltiden 1 ml alınarak 25 ml'lik balon jojeye aktarılır. Numune zerine sırasıyla, hazırlanışı yukarıda verilen 2 ml kompleks, 2 ml tampon, 10 ml

etil alkol, 2 ml Bromo-PADAP konarak suyla 25 ml'ye tamamlanır ve 40 dk bekletildikten sonra absorbansı 578 nm için boş ayıraca karşı ölçülür.

4.2.4. Topo Yöntemi

Johnson ve Florence'ın [83] cevherdeki uranyum miktarını tayin için önerdikleri yöntem, Bromo-PADAP yönteminin bir değiştirilmiş halidir. Yöntemde aşağıdaki çözeltiler kullanılır.

Kullanılan Çözeltiler

1. Kompleks Çözelti
2. Tampon Çözelti (pH = 8.35): Bromo-PADAP yöntemindeki gibi pH = 8.35'e ayarlama ile hazırlanır.
3. Bromo-PADAP çözeltisi (% 0.05)
4. TOPO Çözeltisi (0.1 M): 19.3 g tri-n-octylphosphine asidin sikloheksandaki 500 ml'lik çözeltisi
5. Nitrik asid (2 M)
6. NaF (% 2)
7. Askorbik asit (% 5)

1000 ppm'lik uranyum çözeltisi ile değişik konsantrasyonlarda kalibrasyon eğrisi çıkarılır. Analiz edilecek cevherin 1 gr'ı 25 ml H_2SO_4 + 25 ml HNO_3 + 50 ml destile su içinde 4 saat 80 °C ta sürekli karıştırma altında çözündürülür, süzöntü 100 ml'ye tamamlanır.

50 ml'lik balon jojeye sırasıyla 10 ml HNO_3 çözeltisi, 0.7 ml numune çözeltisi, 5 ml NaF, 2 ml askorbik asit, 5 ml TOPO çözeltisi alınır karıştırıldıktan sonra, faz ayırımını takiben balon hacmi HNO_3 ile tamamlanır. Üstteki fazdan 25 ml'lik balona 2 ml alınır ve sırasıyla 1 ml kompleks çözelti, 4 ml Br-PADAP ve 2 ml tampon çözelti eklenir ve 10 dakika beklenir, kalan hacim etanolle tamamlanır ve 574 nm'deki absorbansı boş ayıraca karşı ölçülerek konsantrasyon belirlenir.

4.2.5. Asit ve Alkali Analizleri

Ekstraksiyon işlemi esnasındaki tüketilen reaktan miktarları volümetrik analiz yoluyla ile belirlenmiştir:

a) Asit Tüketiminin Analizi : ekstraksiyon sonrası çözeltide kullanılmadan kalan asit miktarı, hacmi belli bir numune üzerine bir kaç damla fenoftalein indikatörü eklenip, 0.1 N NaOH ile çözelti rengi pembeye dönene kadar titre edilerek belirlenir [84]. Başlangıç mol miktarı bilindiğinden bu miktardan son çözeltite kalmış olan miktar çıkarılarak asit tüketimi bulunur. Bulunan değer ton cevher bazına getirilir.

b) Alkali Tüketimlerinin Belirlenmesi: alkali ekstraksiyonda kullanılan CO_3^{--} ve HCO_3^- tın tüketilmeden kalan miktarı 1 M lık HCl çözeltisi ile fenoftalein ve metil oranj indikatörleri yardımıyla titre edilerek bulunur [84]. Fenoftalein CO_3^{--} ın HCO_3^- a dönüşüm noktasını, metil oranj ise HCO_3^- ın CO_2 e dönüşmesini belirlemede kullanılır. Her iki adımda tüketilen HCl harcamaları yoluyla çözeltideki CO_3^{--} ve HCO_3^- miktarları belirlenir. Çözeltide kalan miktarlar başlangıç değerlerinden çıkarılarak CO_3^{--} ve HCO_3^- tüketim miktarları belirlenir. Bu değerlerde aynen asitte olduğu gibi ton cevher bazına dönüştürülür.

4.2.6. Diğer Analizler

a) Ca-Mg Tayini : Cevherden alınan belli bir miktar numune derişik asitte çözündürülür ve süzüntü 500 ml'ye tamamlanır. Bu çözeltinin 100 ml'sine 10 ml Hydroxilamin hidroklorür (% 10) + 0.5 g KCN + 15 ml Buffer (1 l'de 572 ml NH_3 + 67 g NH_4Cl + 5 g Mg) + eriokrom black T + metyl red indikatörleri eklenir ve 0.01 M EDTA ile titre edilir. Buradan total Ca ve Mg elde edilir [85].

100 ml'si kullanılan çözeltiden yine aynı miktarda numune alınır ve üzerine 3 ml trietanolamin + Calcein

indikatör (0.2 g Calcein + 0.12 g Thynol ftalein + 20 g KNO_3) + 10-15 ml 5 N KOH eklenip EDTA ile titre edilir. Buradan % Ca bulunur. Bu denemede sarf edilen EDTA ile 1. arasındaki farktanda % Mg bulunur.

b) $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$ Tayinleri : 1 g numune derişik HCl çözeltisinde belli süre kaynatıldıktan sonra, süzülür ve süzüntü 100 ml'ye tamamlanır. buradan alınan numunede alev fotometrede Na ve K tayin edilir [86].

c) CO_2 ve SO_2 tayinleri : instrümantal olarak kızdırma yoluyla tespit edilir.

d) SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 tayinleri : Kumtaşı yapısındaki cevherler için Amerikan İçişleri Bakanlığınca önerilen standart metodlara göre belirlenmiştir [87].

4.3. ÖN HAZIRLIK İŞLEMLERİ

4.3.1. Cevherin Hazırlanması

MTA Teknoloji Dairesinden alınan numunenin özellikleri bölüm 5.1 de verilmektedir. Elek analizi ve yapısı aydınlatılan numune özel numune kapları içinde saklanmıştır. Numune ekstraksiyon öncesi uzun süre harmanlamayla homojenize edilmiştir. Numunelerin MTA tarafından araziden çıkartılmasından temin etmemiz arasında geçen sürede kısmen oksitlenmiş olması mümkünse de, daha fazla oksitlenmesi için eldivenli kutuda muhafaza edilmeleri uygun görülmüştür.

4.3.2. Çözeltilerin Hazırlanması

Yozgat-Sorgun-Temrezli cevherinin yerinde ekstraksiyonuna yönelik teknolojik çalışmalarda kullanılan asidik

ve alkali çözeltiler, genellikle Merck marka reagent grade maddelerden istenen konsantrasyona karşılık gelen miktarlarda alınarak hazırlanmıştır. Çözeltilerin pH'ları ölçülmüş, çözünmüş oksijen içermemeleri için taze distile su kullanılmıştır. Ayrıca daha önceki çalışmalarda [7,8] çözünmüş oksijenden arındırma için azot ile yıkanmış çözeltiler ve azot ile yıkanmamış çözeltilerin ekstraksiyon verimlerinde fark görülmediğinden azot ile yıkama yapılmamıştır.

Yozgat-Sorgun-Temrezli cevherinin ekstraksiyon çalışmalarında, Türkiye'de ilk defa Caro asidi (H_2SO_5 , permonosülfirik asit) kullanılmıştır. Caro asidi uranyum ekstraksiyonuna son yıllarda uygulanmaya başlanmış bir çözücü olup, oldukça iyi neticeler verdiği belirtilmektedir [33,35]. Saf veya konsantre halde uzun süre stabil kalmadığından taze hazırlanması ve kullanılmadığı süre soğukta muhafazası gerekmektedir.

Caro asidi çözeltisinin hazırlanmasında uygulanan yöntem literatürden alınmıştır [35,36]. % 97 lik H_2SO_4 ve % 70'lik H_2O_2 , 10 °C'ta muhafaza edilen su banyosu içinde tepkimeye sokulmuştur. Su banyosu içindeki reaktöre alınan 250 ml H_2SO_4 üzerine, H_2SO_4/H_2O_2 mol oranı 3/1 olacak şekilde (57.3 ml) H_2O_2 ilave edilmiştir. Çözelti sıcaklığının 15 °C'ı aşmaması sağlanmıştır. Yapılan analizler denge noktasının sağlandığını göstermektedir. H_2O_2 nin kalan miktarı literatüre uygun olarak % 0.4 bulunmuştur. (2.13) denklemindaki denge reaksiyonu uyarınca yapılan kütle dengesi hesaplarında, tüketilen tüm H_2O_2 nin H_2SO_5 oluşumunda harcandığı göz önüne alınarak, sonuç çözeltinin % 31.2 H_2SO_5 , % 56.8 H_2SO_4 , % 0.4 H_2O_2 ve % 11.65 H_2O dan oluştuğu hesaplanmıştır.

4.4. EKSTRAKSİYON İŞLEMİ

Ekstraksiyon denemeleri, işlem yürüyüşleri prensipte aynı olmakla beraber, uygulamada bazı farklılıklar

göstermektedir. Buna göre takip edilen adımlar, bu bölümdeki ilgili kısımlarda verilmiştir.

4.4.1. Çalkalayıcı Denemeleri

Hazırlanışı bölüm 4.3.1 de verilen 25 g cevher üzerine katı/sıvı oranının 1/10 olması sağlanacak biçimde 250 ml istenen derişimdeki çözeltiden ilave edilmiştir. Gerekiyorsa oksidanda eklenerek 500 ml'lik balonda toplanan cevher-çözücü sistemi çalkalayıcıya yerleştirilmiştir. Karıştırma hızı dipte bir çökelti tabakasının kalmadığı bir düzeyde ayarlanmıştır. Deney esnasında 3,15,30. dakikalar ile bunu takiben 1'er saatlik aralıklarda çalkalayıcı durdurulmuş ve katının çökmesi için 3-4 dakika beklenmiştir. Üstte berraklaşan numuneden 1-2 ml örnek alındıktan sonra çalkalamaya devam edilmiştir. Beslemeye rağmen alınan örnek yeterli berraklıkta değilse bir mini vakumlu düzenekte süzölmüştür. Berrak 1 ml numune 4.2.3 te anlatılan yöntemle analiz edilmiştir.

4.4.2. Otoklav Denemeleri

Otoklavda yapılan çalışmalar başlama ve numune alma olarak 2 kısımda incelenir :

a) Başlama : Otoklav iç kabına 25 g cevher alındıktan sonra üzerine 250 ml çözelti, gerekiyorsa oksidan ilave edilir. Otoklav kapağı süratle kapatılarak vidalar uygun şekilde sıkıştırılır. Otoklav içerisinde azot dolastırılarak, azot atmosferi oluşturulur. İstenen sıcaklık dijital kontrol ünitesinde ayar edildikten sonra, başlangıçta gerekli değere ayarlanır. Karıştırma hızı 600 rpm'e ayarlanarak, karıştırıcı çalıştırılır. Yapılan kör denemelerde 600 rpm'deki ekstraksiyon sonuçlarının çalkalayıcı ile uyumlu olduğunu göstermektedir.

b) Numune alma : Karıştırıcı durdurulur, çözücünün durulması için 3-4 dk beklenir. Bu arada basınç atmosferik

değere, gerekiyorsa getirilir ve kör tıpa açılarak şırınga ile 2 ml numune alınır. Numune deliği tekrar kapatılır, basınç ayarlanır ve karıştırma başlatılır. Alınan numunede uranyum analizi yapılır.

4.4.3. Kolon Denemeleri

MTA kanalı ile temin edilen Yozgat-Sorgun-Temrezli cevherinin miktarının kısıtlı olması yüzünden kolon denemeleri 100'er g'lık numunelerle gerçekleştirilmiştir. 4.1.3'deki tanıtılan düzende bulunan 30 cm'lik kolon altında bir sahte taban ile cam yünü bulunmaktadır. Özel bir cevher doldurma borusu ile cevher homojen biçimde kolona süratle transfer edilir. İstenen poroziteye sıkıştırılır ve dağılmaması için üstünde cam yünü yerleştirilir. Kolon üstünde kapatıldıktan sonra ya alttan vakum veya üstten basınç uygulanır ve çözelti göllenme miktarı fazla olmayacak bir hızda beslenir. Vakumlu uygulamalarda belli zaman aralıklarında vakum kesilir ve atmosferik koşullar sağlanarak numune alınır ve işleme tekrar başlanır. Üstten basınç uygulamasında ise çözelti akış hızı ölçülen boşluk hacminin belli bir oranına karşılık gelecek debide basınç farkıyla ayarlanır. Kolon altına yerleştirilen mezürler ile $\frac{1}{2}$ veya 1 boşluk hacminde bir numune alınarak önceki kısımlarda anlatılan yöntemle uygun olarak analiz edilir.

4.5. KÜTLE DENGESİ HESAPLAMALARI

Ekstraksiyon denemelerinin verimleri, başlangıçta ölçülen numunedeki U_2O_5 miktarından faydalanılarak belirlenmektedir. Ancak ekstraksiyon denemelerinin sağlanması ve kütle denklığının kontrolü için de denemeler yapılmıştır. Gerçi literatür [6,9] bu tür denemelerde kütle denklığının % 90'ın üstünde olduğunu söylemekteyse de çalışmalarda ki hatanın belirlenmesi için bu denemelere gerek duyulmuştur.

Ekstraksiyon sonucu katı, nüçe hunisi kullanılarak çözeltiden ayrılmıştır. Alınan çözeltinin hacmi ölçülerek bir kapta toplanmıştır. Nuçede kalan katı kullanılmamış ekstraksiyon çözücüsü ile katı sıvı oranı yaklaşık ½ olacak şekilde yıkanır, hacmi ölçülür ve birinci yıkama çözeltisi olarak saklanır. Kalan katı bir kezde destile su ile yıkanır ve hacmi ölçülerek ikinci yıkama çözeltisi olarak muhafaza edilir. Kalan katı sabit tartıma kadar kurutulur. Ele geçen tüm bu numunelerde 4.2.3 ve 4.2.4'de anlatılan yöntemlerle U_3O_8 analizi yapılır.

Ele geçen tüm bu değerlerden aşağıdaki hesaplama yöntemiyle ekstraksiyon yüzde doğruluğu tespit edilir.

Başlangıçta cevherdeki uranyum miktarı . M_0C_0 mg U_3O_8
Katı artık maddedeki uranyum miktarı ... M_0C_0 mg U_3O_8
Filtrattaki uranyum miktarı $V_1C_1 \cdot 10^{-6}$ mg U_3O_8
Birinci yıkamadaki uranyum miktarı $V_1C_1 \cdot 10^{-6}$ mg U_3O_8
İkinci yıkamadaki uranyum miktar $V_2C_2 \cdot 10^{-6}$ mg U_3O_8
Ekstraksiyon esnasında alınan numunelerdeki
uranyum miktarı..... $(V_N \cdot 10^{-6}) \cdot EC_{U_3O_8}$ mg U_3O_8
Ekstraksiyon çıkışında toplam uranyum miktarı :
Katı artık madde + Filtrat + Birinci yıkama +
İkinci yıkama + Numuneler

Çıkıştaki U_3O_8 miktarı(mg)
%Ekstraksiyon Doğruluğu = $\frac{\text{Çıkıştaki } U_3O_8 \text{ miktarı(mg)}}{\text{Girişteki } U_3O_8 \text{ miktarı(mg)}} \cdot 100$

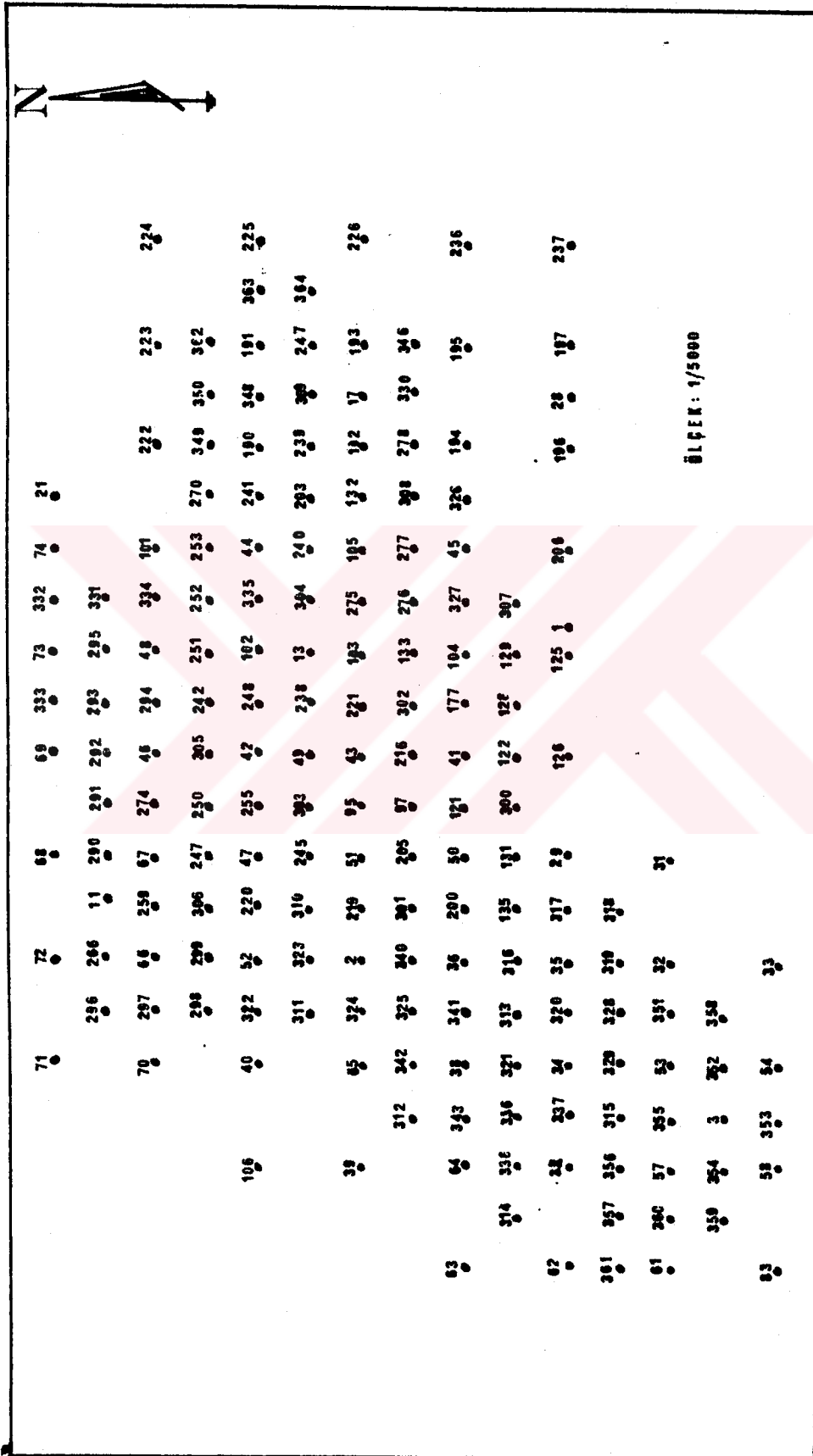
BÖLÜM 5. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1. CEVHERİN YAPISININ İNCELENMESİNE YÖNELİK ÇALIŞMALAR

Yozgat-Sorgun-Temrezli uranyum rezervinin yerinde ekstraksiyon yöntemiyle değerlendirilmesinin mümkün olup olmadığına karar verme çeşitli aşamalara bağlıdır. Bu aşamaların en başında varlığı tespit edilen rezervin konum ve tonajının tespiti gelmektedir. Bu amaca yönelik çalışmalar 1982 yılından bu yana MTA tarafından gerçekleştirilmektedir [88,89,90]. Yozgat-Sorgun-Temrezli uranyum yatağında kesin rezerv ve cevher konumunu belirlemek üzere 400 civarında gerek karotlu, gerek karotsuz kuyu delinmiştir. MTA tarafından gerçekleştirilen sondajlar sonucu, yaklaşık 2500 t U_3O_8 'e eşdeğer bir rezerv tespit edilmiştir. İkinci aşamada rezervin değerlendirilmesine yönelik teknolojik çalışmalar bulunmaktadır. Bunun içinde öncelikle yöreyi temsil eden bir numunenin hazırlanması gereklidir. Zira bu numune üzerine laboratuvar çapında gerçekleştirilecek denemeler sayesinde optimum parametreler tayin edilebilir. Verim, çözücü sisteminin değişimleri gibi parametreler tespit edildikten sonra ancak bir sonraki aşamaya karar verilebilir. Bu bölümde yöreyi temsil eden numunenin hazırlanması ve yapısının belirlenmesi hedeflenmiştir.

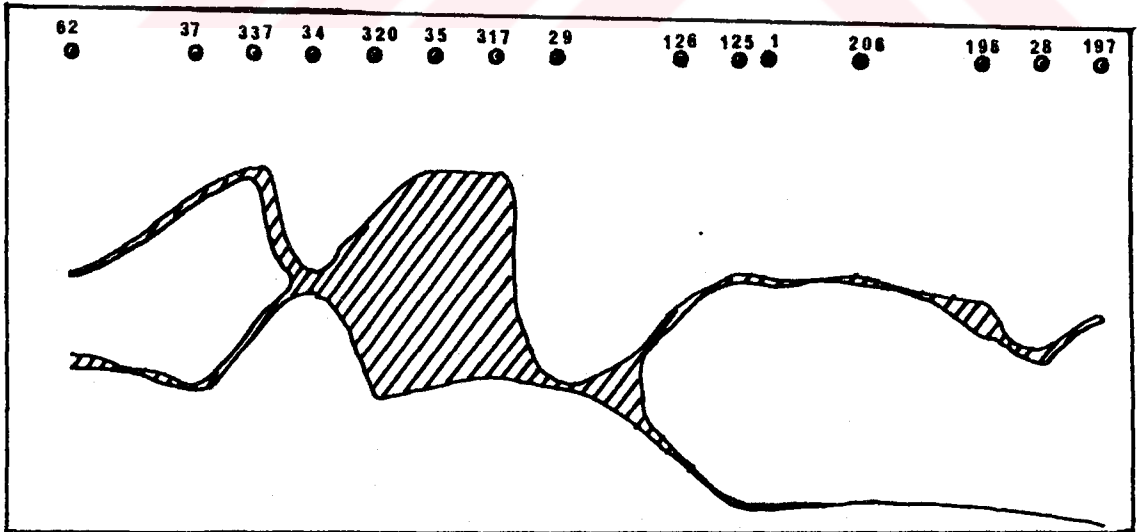
5.1.1. Yozgat Uranyum Rezervinin Konumu

MTA tarafından yapılan araştırmaların fizibilite ile ilgili olan sondaj çalışmaları uranyum tabakalarının ve bunların kalınlık ve de derinliklerinin belirlenmesine



Şekil 5.1. Yozgat-Sorgun-Temrezli Bölgesinde Yapılan Sondajlı Çalışmalar

yöneliktir. Şekil 5.1 de bölgede yapılan sondajlarda açılan kuyuların konum ve numaraları görülmektedir. Bu numaraları görülen kuyular, [88,89,90] nolu referanslarda verilen sonuçlardan faydalanılarak, enlemesine en geniş hatların bulunduğu güney kuzey doğrultusunda değerlendirilmeye alınmıştır. Her bir sıradaki kuyularda cevherli hatlar haritalarda konumlandırılmış ve daha sonra bu noktalardan, o hat üzerinde uranyumlu tabaka optimize edilerek, merceğin o hat boyuncaki konumu ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Bu çalışmaya ait bir örnek Şekil 5.2 de görülmektedir. Şekil 5.2 de görülen uygulama her sondaj sırası için uygulanmış ve 9 kesit elde edilmiştir. Bu dokuz kesit üç boyutlu eksen üzerine yerleştirilerek uranyumun yatak içindeki yerleşim şekli ortaya çıkarılmıştır. Yozgat-Sorgun-Temrezli uranyum yatağının yerleşim yapısı ile ilgili bu harita Şekil 5.3 te verilmektedir. Şekil 5.3 den görüleceği üzere uranyum yatağı düzgün konumlanmamıştır. Yatağın kalınlığı ve derinliği sürekli bir değişim içinde bulunmaktadır.



Şekil 5.2. 9 Nolu Kesitteki Uranyumlu Tabaka.

Tablo 5.1. Denemelerde Kullanılan Harman Cevherin Oluşturulması [91].

Sondaj No	örnek No	g	% U_3O_8	Derinlik m
301	15	108	0.1100	109.27- .40
	16	313	0.1100	.40- .55
	17	276	0.0900	.55- .70
	18	328	0.0800	.70-109.85
302	1	552	0.1400	120.90-121.20
	2	329	0.2080	.20- .40
	3	346	0.1220	.40- .60
	4	420	0.0380	.60- .80
	5	376	0.0280	.80-122.00
	18	395	0.0530	172.80-173.00
	19	308	0.1170	.10- .30
	20	275	0.0480	.30- .60
	21	302	0.4300	.60-173.80
	22	378	0.0480	173.80-174.00
	31	320	0.4300	180.00- .20
	32	338	0.5800	.20- .40
	33	461	0.0260	.40-180.60
303	6	150	0.0950	56.90- 57.00
	7	162	0.0650	.00- .10
	8	377	0.0950	.10- .30
	9	336	0.0250	.30- .50
304	3	231	0.1700	117.45-117.60
	4	423	0.0700	.60-118.00
	5	810	0.1400	118.00- .70
	6	940	0.1000	.70-119.40
	7	1168	0.0600	.40-120.20
	10	447	0.0850	152.30- .90
	11	1060	0.0270	.90-153.80
	12	644	0.0230	.80-154.50
	13	1400	0.2100	.50-155.50
	14	1180	0.0140	.50-156.40
	27	620	0.0315	162.10- .40
	28	465	0.2100	.40- .70
	29	550	1.3300	.70-163.00
	30	392	0.0370	.00-163.30*
	32	392	0.1500	171.80-172.00*
	34	466	0.4000	.20- .40
	35	443	0.2200	.40- .60
	36	348	0.1400	.60- .80

Sondaj No	örnek No	g	% U ₃ O ₈	Derinlik m
304	37	440	0.0600	172.80-173.00
	38	413	0.0230	.00- .20
	39	450	0.0210	.20- .40
	40	902	0.0200	.40- .80
305	32	1034	0.2000	148.50-149.00
	33	675	0.0140	.00- .30
	34	401	0.0700	.30-149.50
308	4	300	0.4300	130.70- .90
	5	370	0.3400	.90-131.10
	6	372	0.1200	.10- .30
	7	233	0.0240	.30- .50
	8	442	0.0195	.50- .70
	9	393	0.0055	.70- .90
	10	435	0.0030	.90-132.20
	11	339	0.3200	.20-132.50
310	10	509	0.0400	120.10-120.40
	11	674	0.1500	.40- .70
	12	728	0.0800	.70-121.00
	31	1085	0.1400	122.60-130.00
	32	1360	0.2000	.00-130.50
	36	906	0.1200	132.00- .40
	37	906	0.0450	.40-132.80
313	7	360	0.2200	91.30- .50
	8	330	0.1400	.50- .70
	9	340	0.0600	.70- .90
	10	545	0.0450	.90- 72.10
315	11	300	0.0800	104.00- .20
	12	500	0.2700	.20- .40
	13	390	0.5000	.40- .60
	14	380	0.6000	.60- .80
	15	350	0.2800	.80-105.00*
	71	36146	0.1492	

* İşaretli numuneler sarı renkli cevherdir.

5.1.2. Rezervi Temsil Eden Numunenin Hazırlanması

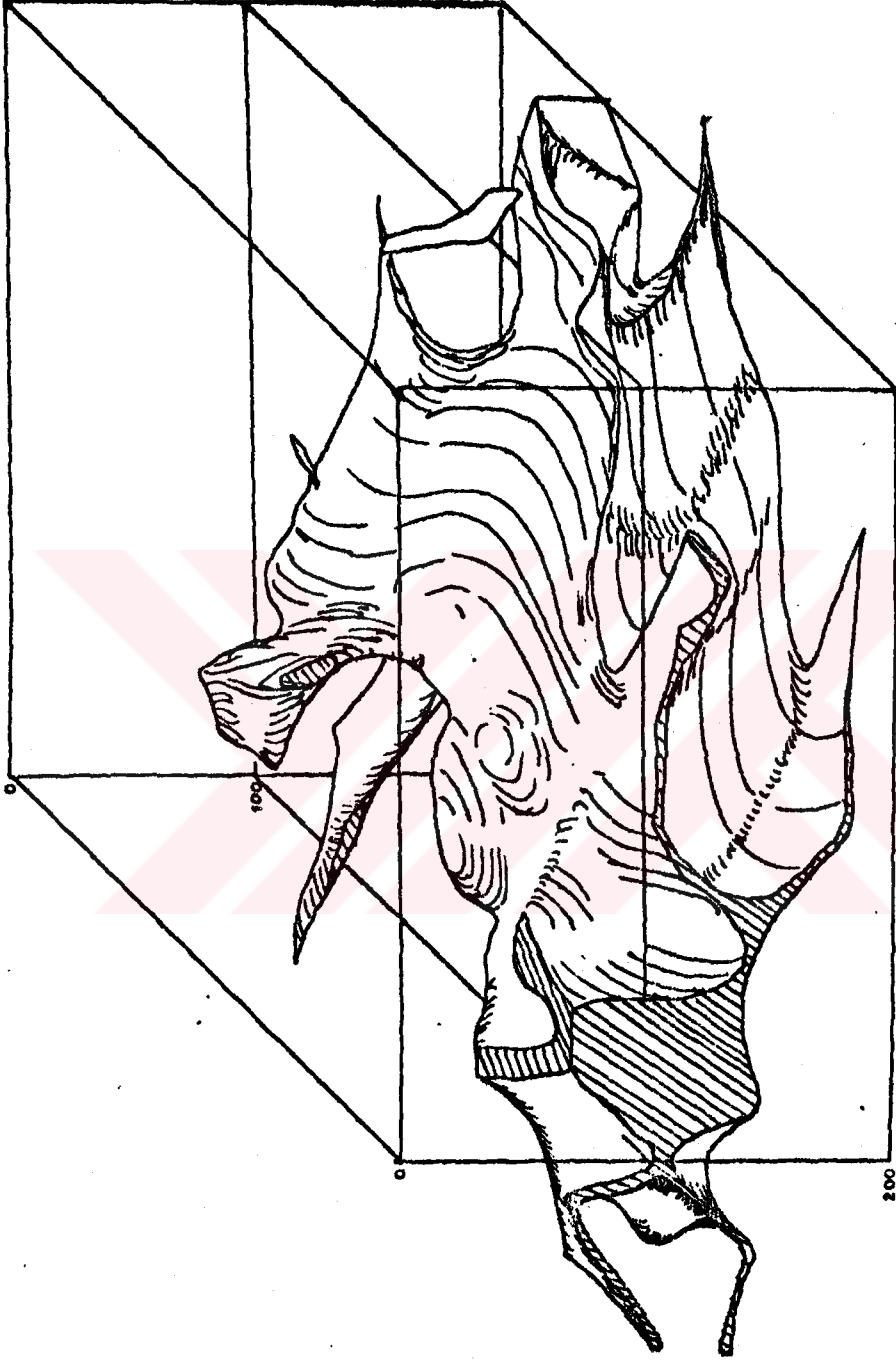
Denemelerde kullanılan numune MTA Genel Müdürlüğü ile kurulan irtibat sonucu MTA Teknoloji Dairesinden temin edilmiştir. Numune [91] nolu referansta belirtildiği üzere bölgeyi temsil etmek amacıyla MTA Atom Kömür Dairesinin Yozgat-Sorgun-Temrezli de gerçekleştirdiği karotlu sondaj numunelerinden Teknoloji Dairesinde harmanlanarak hazırlanmıştır. Numuneler 301, 302, 303, 304, 305, 308, 310, 313, 315 nolu karotlu sondaj kuyularından alınmıştır. Bu kuyuların konumları Şekil 5.1 de görülmektedir.

Yöreği temsil etmek maksadıyla hazırlanan numunede kullanılan sondaj örnek noları, miktarları, uranyum içerikleri, alındıkları derinlikler Tablo 5.1 de verilmiştir. Tablo 5.1'in incelenmesi 9 kuyudan seçilen 71 örneğin harmanlaması sonucu hazırlanan numunenin MTA'ca hesaplanmış tenörün 1492 ppm olduğu anlaşılmıştır. Örnekler 56.90 metre ile 180.60 metre arasındaki derinlikten alınmıştır. Bu harmanlanmış numunenin % 3.14'ünün yörede tespit edilen iki cevherden sarı renkli olanından, geri kalanı ise diğer yapıdaki gri renkli cevherden oluşmaktadır.

5.1.3. Numunenin Minerolojisinin İncelenmesi

5.1.3.1. Elek Analizi

Tablo 5.1 de belirtilen örneklerin harmanlanıp, kırılması ile hazırlanan numunenin elek analizi MTA tarafından yaş ve kuru olarak yapılmış olup; kuru elek analizi sonuçları Tablo 5.2 de verilmiştir. Aynı tabloda bölümümüzde yapılan kuru elek analizi sonuçları da görülmektedir. Her iki kurumca yapılan elek analizi sonuçlarında uyum görülmektedir.



Şekil 5.3. Yozgat-Sorgun-Temrezli Rezervinin Üç Boyutlu Konumu.

Tablo 5.2. Yozgat-Sorgun Uranyum Cevheri Elek Analiz Sonuçları.

MTA Kuru Elek Analizi [91]			İ.T.Ü.		
Mikron	% g	Top. %	Mikron	% g	Top. %
350-...	22.0	22.0	355-...	21.61	21.61
150-350	37.6	59.6	150-355	35.83	57.44
108-150	17.0	76.6	106-150	16.37	73.81
70-108	8.8	85.4	75-106	9.51	83.32
..- 70	14.6	--	..- 75	16.67	-
Toplam	100.0			99.99	

5.1.3.2. Kimyasal Analiz

Yozgat-Sorgun-Temrezli rezervini temsil etmek için hazırlanmış numunenin kimyasal yapısını belirlemek için bölüm 4.2 de anlatılan yöntemlerle analizler yapılmış ve cevherin yapısı aydınlığa kavuşturulmuştur. Cevhere ait

Tablo 5.3. Yozgat-Sorgun-Temrezli Uranyum Cevheri Kimyasal Analiz Sonuçları.

	İ.T.Ü.		MTA
	%	Yöntem	%
U ₃ O ₈	0.133	Bromo-PADAP	0.14
CO ₂	2.732	Enstrümantal	1.93
SiO ₂	72.230	Gravimetrik	10'dan büyük *
Al ₂ O ₃	11.700	Volumetrik	10 civarı *
Fe ₂ O ₃	2.300	"	2 *
CaO	6.750	EDTA	2 *
MgO	1.010	"	0.3 *
Na ₂ O	0.040	Flamephotometry	0.4 *
K ₂ O	3.557	"	-
SO ₃	0.600	Enstrümantal	-

* MTA sonuçları optik spektrografik yarı kantitatif analiz sonucu olarak verilmiştir [91].

kimyasal analizlerin sonuçları Tablo 5.3 de verilmiştir. Aynı tabloda mukayese için MTA tarafından gerçekleştirilen kimyasal analiz sonuçları da gösterilmiştir.

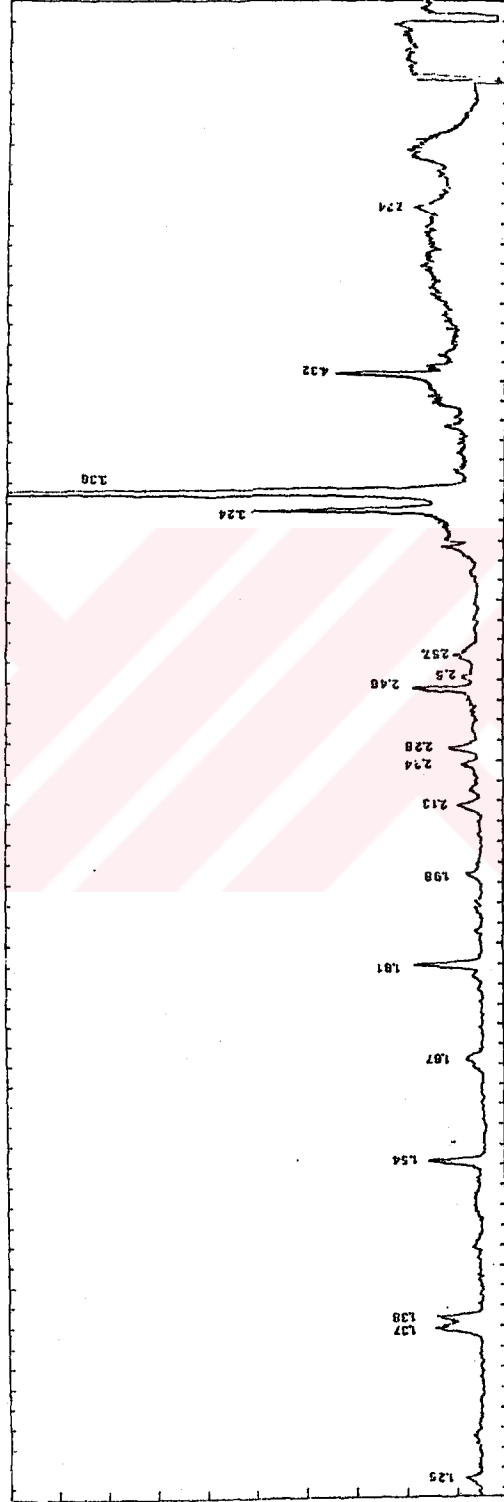
Tablo 5.3 Ün incelenmesi Yozgat-Sorgun-Temrezli cevherinin kumtaşı yapısında olduğunu göstermektedir. Ana yapıyı oluşturan elementler Si, Al, Ca dur. MTA sonuçlarının yarı kantitatif olduğu belirtilmektedir [91], dolayısıyla sonuçların tam bir hassasiyete sahip oldukları söylenememektedir. Muhtemelen verilen yöntemler uygulanan yöntemin duyarlılık alt sınırı olmaktadır.

5.1.3.3. X-Işınları Analizi

Cevherin minerolojik yapısını belirlemek üzere çekilen x-ışınları difraktogramı Şekil 5.4 de verilmiştir. Difraktogramların incelenmesiyle, Yozgat-Sorgun-Temrezli cevherinde esas olarak SiO_2 , Al_2O_3 ve CaCO_3 minerallerinin karakteristik piklerinin hakim olduğu, bunun yanı sıra daha az oranlarda potasyum alümina silikat gibi kompleks silikatların mevcut olduğu, bu fazların karakteristik piklerinin demir uranyum silisit (U_2FeSi) mineraline ait piklerle çakıştığı anlaşılmıştır.

5.1.3.4. Elektron Mikroskopik Analiz

Cevherin minerolojik yapısını belirlemek maksadıyla Bölüm 4.2.2. de anlatılan yöntemle Yozgat-Sorgun-Temrezli uranyum numunesinin yapısının daha iyi aydınlatılması için elektron mikroskopik analiz uygulanmıştır. Harmanlanmış numunedan alınan belirli bir miktar numune 1000 kPa altında pelet haline getirilerek elektron mikroskopda incelenmiştir. Numune üzerinde rastgele seçilen noktalarda yarı kantitatif analizler gerçekleştirilmiştir. Yarı kantitatif analizlerde uranyuma ait pikler potasyumla karıştığından birlikte tayin edilmişlerdir. Dolayısıyla



Şekil 5.4. Yozgat-Sorgun-Temrezli Bölgesi Cevheri X-Işınları Difragtogramı.

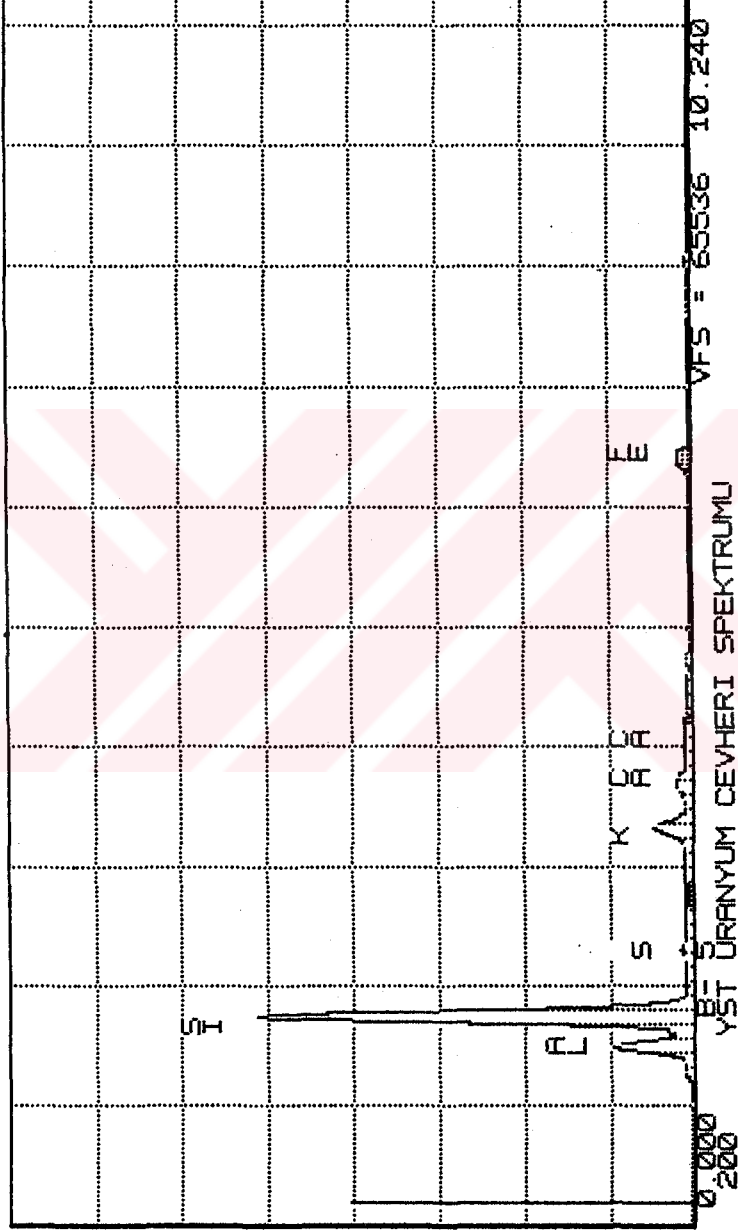
potasyuma ait değerler uranyumuda içermektedir. Numune üzerinde 7 rastgele noktada gerçekleştirilen analiz sonuçları Tablo 5.4 te görölmektedir. SEM analizleri esnasında tespit edilen bir x-ışınları analizine ait pikler Şekil 5.5 te görölmektedir.

Tablo 5.4. Yozgat-Sorgun-Temrezli Uranyum Rezervi Üzerinde Seçilen Çeşitli Noktaların Yarı Kantitatif Elektron Mikroskop Analiz Sonuçları.

Nokta Element	Ağırlık Yüzdesi						
	1	2	3	4	5	6	7
Al	12.50	5.87	14.18	12.92	14.27	12.37	11.10
Si	58.79	84.85	61.11	57.62	58.00	56.62	68.93
S	2.19	1.43	2.61	2.23	2.01	1.94	1.90
K+U	8.44	2.54	5.73	5.51	6.00	5.62	8.19
Ca	8.69	2.13	8.36	9.38	12.09	16.31	3.09
Fe	9.39	3.19	8.00	12.34	7.66	7.15	6.78

Elektron mikroskopik analizle elde edilen bu değerlerin ortalamaları ve standart sapmaları alınarak yaş analizleride aynı temel üzerinde düzenleyerek karşılaştırılma yoluna gidilmiştir. Tablo 5.5. de verilen bu karşılaştırma değerleri her iki analizin sonuçları arasında bir uyum olduğunu göstermektedir. Numune üzerinde seçilen ve yukardaki analize uygun bir noktada x-ışınları taraması gerçekleştirilerek söz konusu elementlerin haritaları çekilmiştir. Şekil 5.6 cevher numunesi üzerinde alınan bir noktaya ait 750 kez büyütölmüş fotoğrafı vermektedir. Şekil 5.7 de bu noktada gerçekleştirilen çeşitli elementlere ait x-ışınları tarama haritaları görölmektedir. Şekil 5.8a ve Şekil 5.8b de numune üzerinde farklı diğer iki noktanın 750 şer kez büyütölmüş elektron mikroskop fotoğraflarıdır. X-ışınları taramasıyla alınan haritaların incelenmesi bir önceki kısımda anlatılan x-ışınları analiz sonuçları ile büyük uyumluluk içinde bulunmaktadır.

IN-5400 TECHNICAL UNIVERSITY OF ISTANBUL WED 11-MAY-88 12:11
Cursor: 0.000keV = 0 ROI (2) 6.300: 6.500



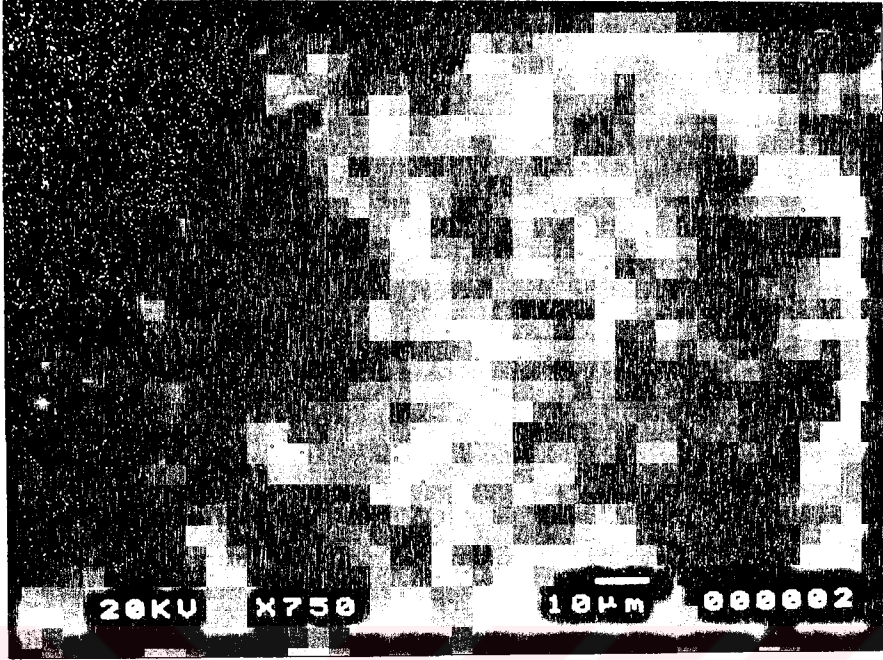
Şekil 5.5. Yozgat-Sorgun-Temrezli Bölgesi Cevheri Elektron Mikroskop X-Işınları Difragtogramı.



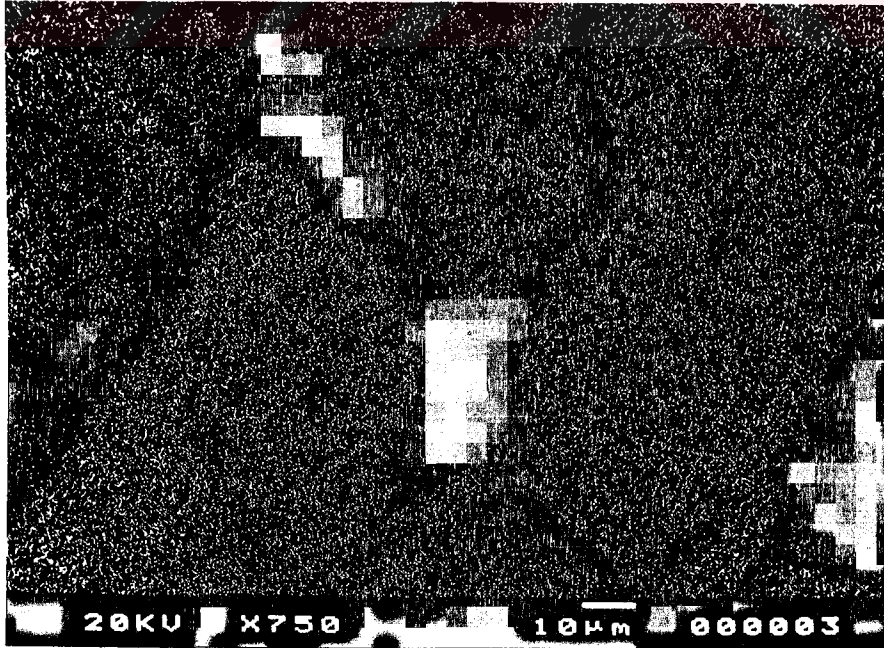
Şekil 5.6a. YST Cevherinin 750 Kez Büyütülmüş SEM Fotoğrafı



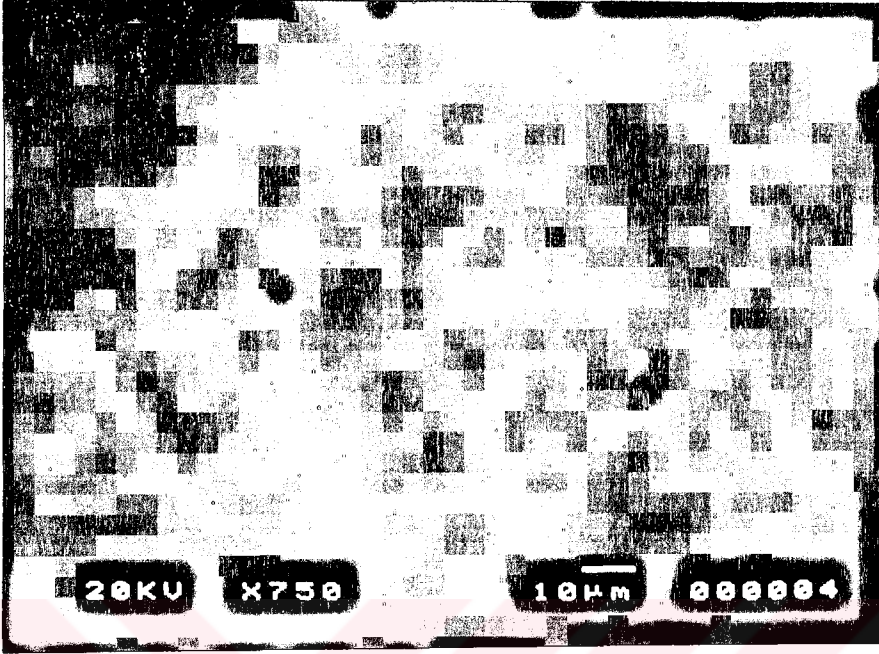
Şekil 5.6b. Aynı Noktanın Bir Başka Kontrastaki Fotoğrafı



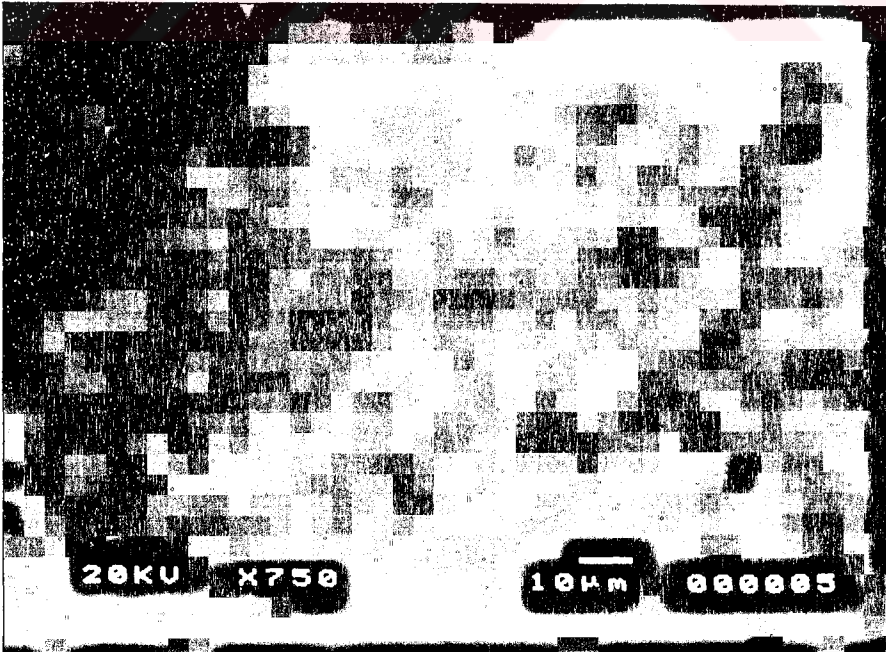
Şekil 5.7a. YST Cevheri Üzerinde Al Dağılım Haritası



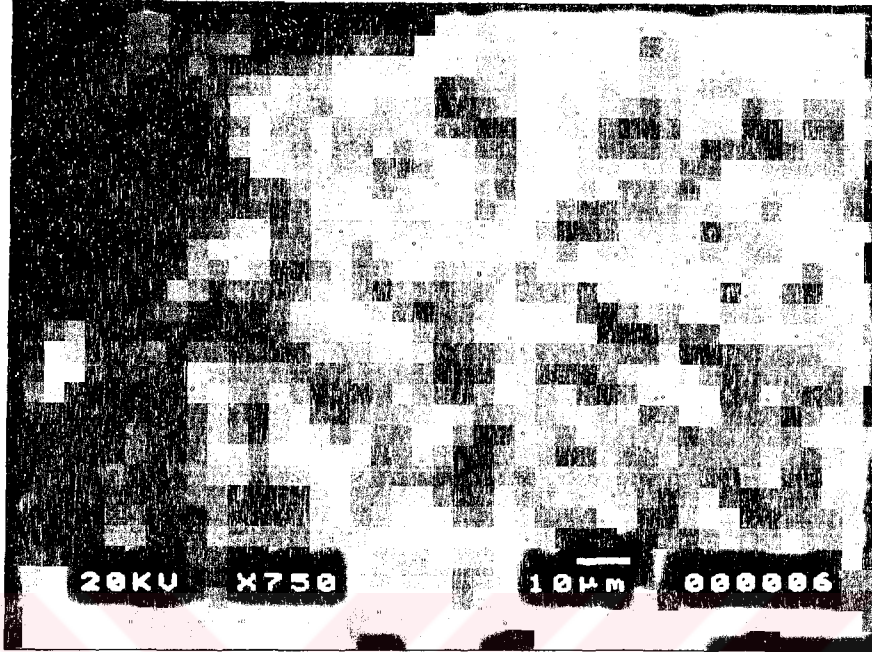
Şekil 5.7b. YST Cevheri Üzerinde Si Dağılım Haritası



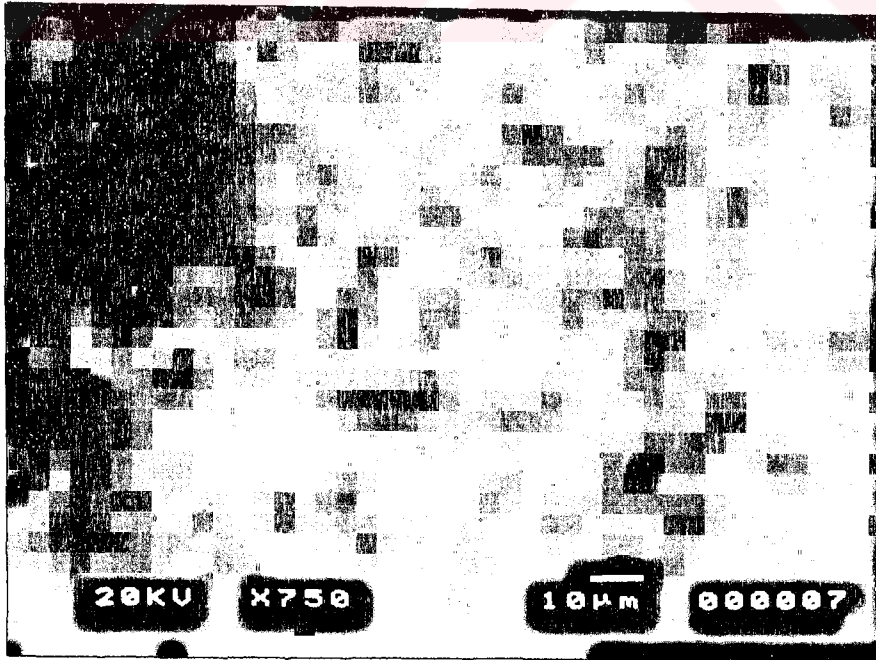
Şekil 5.7c. YST Cevheri Üzerinde S Dağılım Haritası



Şekil 5.7d. YST Cevheri Üzerinde K+U Dağılım Haritası



Şekil 5.7e. YST Cevheri Üzerinde Ca Dağılım Haritası



Şekil 5.7f. YST Cevheri Üzerinde Fe Dağılım Haritası



Şekil 5.3a. YST Cevheri Üzerinde Bir Başka Kristal



Şekil 5.3b. YST Cevheri Üzerinde Bir Diğer Kristal

Yapının oldukça homojen olmasından ve potasyum ile uranyum piklerinin karışması uranyumun yapıdaki durumu hakkında kesin bir yargıya varmamızı zorlaştırmaktadır. Ancak x-ışınları analizinde de belirtildiği gibi uranyumun demir uranyum silisit yapısı içinde bulunabileceği anlaşılmaktadır. [88] nolu kaynakta da benzer analiz yoluyla uranyumun silikat yapıları içinde olduğu belirtilmesi varılan yargıyı doğrulamaktadır.

Tablo 5.5. Kimyasal ve Tarama Elektron Mikroskopisi Analiz Sonuçları

	Kimyasal Analiz	SEM Analizi	Standart Sapma
Al	12.47	11.89	2.87
Si	67.91	63.70	10.21
S	0.49	2.04	0.36
K+U	6.18	6.00	1.97
Ca	9.71	8.58	4.91
Fe	3.24	7.79	2.71

5.2. ASİT SİSTEMLERLE YAPILAN EKSTRAKSİYON DENEMELERİ

Uranyum cevherinden uranyum ekstraksiyonu asidik veya alkali çözücü sistemlerin kullanılmasıyla gerçekleştirilebilir. Uygun çözücünün seçilebilmesi cevherin fiziksel ve kimyasal yapısına bağlıdır. Yapıda bulunan killler ve çeşitli gang maddeleriyle organik maddeler, alkali veya asidik karakterli kayalar çözücü seçimini etkiler [20,21,31]. Cevher üzerine yapılan ve bölüm 5.1 de anlatılan mineralojik tetkikler hem asidik hemde alkali çözücülerin Yozgat-Sorgun-Temrezli cevherinde kullanılabileceğini göstermektedir. Ancak jeolojik tetkiklerde bazı bölgelerde sarı cevher olarak tanımlanan bir bölüm rezervin yüksek karbonat içerikli olduğu görülmüştür. Yapılan tetkikler bu türün toplam yapıda % 3 civarında olduğunu ve asit kullanımında bir probleme yol açmayacağını göstermiştir [91]. Jeolojik ve minerolojik tetkiklerin kullanılacak

çözücü üzerinde kesin yargıya varmamıza yetmemesi yüzünden hem asidik, hemde alkali çözücülerin denenerek en uygun çözücünün tespiti deneylerde ana hedef olarak belirlenmiştir. Yukardaki belirtilen hedef uyarınca, 1. grup deneyler çalkalayıcı kullanılarak çeşitli asidik ve alkali sistemlerle gerçekleştirilmiştir.

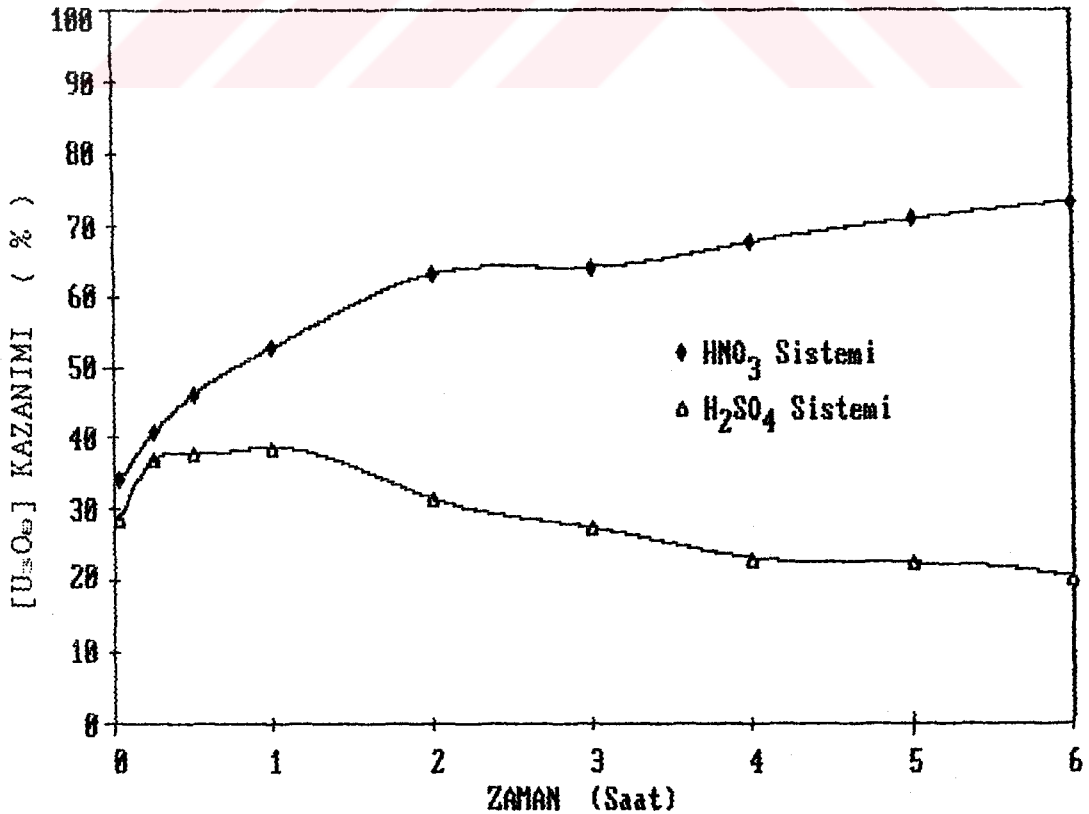
5.2.1. Uygun Asit Sisteminin Seçimi

Çeşitli araştırmacılar [16,25,31,40,41] HNO_3 , H_2SO_4 ve Caro asidlerinin yerinde uranyum ekstraksiyon yönteminde kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Bu tür asidik çözücülerin çeşitli ticari uygulamaları ABD, SSCB ve Avustralya da bulunmaktadır [47,48,67,72]. Bunların yanında, Torma ve arkadaşları [42] HCl asidinin de düşük tenörlü uranyum cevherlerinde ekstraksiyon sistemi olarak kullanılabileceğini göstermişlerdir. Ancak Bölüm 2.1 de de belirtildiği gibi klor gazı açığa çıkarması, yerinde ekstraksiyon uygulamasında yapıda tıkanmalara yol açmaktadır. Bu yüzden de Yozgat-Sorgun-Temrezli için denenmesi gereksiz bulunmuştur. Bu asitlerden HNO_3 ile Caro asidinin +4 değerlikli uranyumu +6 hale oksitleme kabiliyeti olmasına karşılık H_2SO_4 'ün ancak MnO_2 , H_2O_2 gibi oksitleyicilerle aynı etkiyi gösterdiği bilinmektedir. Bu nedenlerden dolayı, Yozgat-Sorgun-Temrezli cevheri için uygun asit ekstraksiyon sisteminin belirlenmesi amacıyla sözü edilen asid ve oksitleyicilerle bir seri ön denemeler yapılmıştır. Ortam sıcaklığında çalkalayıcıda 600 rpm lik devir hızında gerçekleştirilen ekstraksiyon denemelerinde katı çözelti oranı 1/10 olarak tutulmuştur [6,7,8].

a) HNO_3 Sistemi : 0.1 M HNO_3 ile oksitleyici kullanmadan yapılan denemede çözelti başlangıç pH'ı 1.16 olarak ölçülmüş, pH'ın 15. dakikada 1.34'e 3. saatte 1.4'e 5. saatte ise çok az bir değişimle 1.5'e ulaştığı görülmüştür. Şekil 5.9 da görüldüğü üzere pH'ın bu şekilde önemsiz bir biçimde değişmesi, ekstraksiyon veriminin düzenli

olarak artmasını sağlamıştır. 6. saatte % 71'lik bir verime ulaşılmıştır. Ekstraksiyon işlemi süresince numune alımları amacıyla çalkalama durdurulduğunda katı sıvı ayrılmasının hızlı bir şekilde olduğu ve berrak bir çözelti elde edildiği gözlenmiştir.

b) H_2SO_4 Sistemi : 0.1 M H_2SO_4 çözeltisiyle altı saat gerçekleştirilen ekstraksiyon denemesinin sonuçları Şekil 5.9 de gösterilmiştir. Şekil 5.9 dan da görüleceği gibi 0.1 M H_2SO_4 çözeltisi ile yapılan denemenin sonuçları HNO_3 sistemiyle mukayese edilince sülfürik asit sisteminin nitrik asit sistemine göre olumlu olmadığı anlaşılmaktadır. 0.1 M H_2SO_4 çözeltisinin ekstraksiyon başlangıcında pH'ı 1.08 olarak ölçülmüştür. Ekstraksiyon boyunca da çeşitli zamanlarda pH ölçümü yapılmıştır. Buna göre pH, 15. dakikada 2.57 ye, 3. saatte 4.2'ye 5. saatte ise 5'e ulaştıktan sonra sabitleşme eğilimi göstermiştir. pH'nın bu önemli değişimi esnasında sadece birinci saat içinde olumlu bir ekstraksiyon yürüyüşü gerçekleşmiş, bu andan



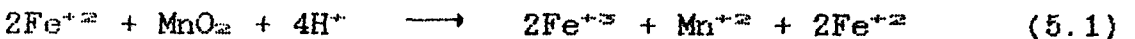
Şekil 5.9. Sülfürik ve Nitrik Asidin Ekstraksiyona Etkisi.

itibaren verimde bir düşüş başlamıştır. Bu da çözünen uranyumun çökmeye başladığını göstermektedir. Numune alımlarındaki beklemelerde katı sıvı ayırımının çok hızlı olduğu görülmektedir.

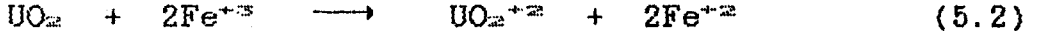
Sülfürik asitin nitrik asit gibi oksitleyici özelliği yoktur ve diğer gang materyalleri ile yapıda mevcudiyeti belirtilen karbonat yüzünden tüketimide daha hızlıdır. Bu sebeple de nitrik asit denemeleri sülfürik asit sonuçlarına göre daha olumlu çıkmıştır. Nitrik asidin yukarıda sözü edilen nedene rağmen seyreltik çözeltilerde uranil nitrat oluşturarak daha sonra sarı pasta üretimi için anyon tipi iyon değiştiricilerin kullanılmasına uygunluk göstermemesi ve pahalı olması yüzünden, nitrik asit üzerine çalışmalara devam edilmemiştir. Ayrıca sülfürik asidin gösterdiği sakıncaların oksitleyici kullanımı ile giderilebileceği çeşitli araştırmacılarla belirtilmiştir [18,21,27,28,31]. Bu yüzden oksitleyicinin etkisini araştırmak için sülfürik asit sistemine MnO_2 ve H_2O_2 ilavesi kararlaştırılmıştır.

5.2.2. H_2SO_4 Sistemine MnO_2 Oksitleyicisinin Etkisi

En yaygın kullanılan oksitleyicilerden birisi olan MnO_2 nin [31,33,42] Yozgat-Sorgun-Temrezli cevherine etkisinin olup olmayacağını belirlemek amacıyla 0.1 M H_2SO_4 çözeltisine 2 farklı konsantrasyonda MnO_2 ilavesi yapılarak ekstraksiyon denemeleri gerçekleştirilmiştir. Bölüm 2.2.3. de belirtildiği gibi MnO_2 +4 değerlikli uranyumu +6 ya doğrudan yükseltgeyememektedir. Öncelikle yapıda bulunan +2 değerlikli demiri (5.1) nolu reaksiyon uyarınca +3 değerlikli hale oksitleyerek gerekli redoks potansiyelini sağlamaktadır.



Bu sayede uranyum elektrokimyasal bir yüzey reaksiyonu ile aşağıda gösterilen reaksiyon gereğince oksitlenir [21,42].



Gerçekleştirilen her iki denemede de çözelti pH'ları başlangıçta 1 civarında iken 15. dakikada 1.4 e yükselmiş, ancak daha sonra, ekstraksiyon süresince sabit kalmıştır. Tablo 5.6 dan görüleceği gibi sülfürik asit sistemine MnO_2 ilavesi ekstraksiyon yürüyüşünü olumlu yönde etkilemiştir. Ancak Tablo 5.6 dan görüldüğü gibi MnO_2 konsantrasyonunun 4 kat arttırılmasına rağmen bunun verime önemli bir etkisi gözlenememiştir. Bunun başlıca nedeni de yukarıda anlatılan, MnO_2 nin dolaylı oksitleme özelliğidir. [21] nolu referansta belirtildiği üzere ferrik iyon konsantrasyonunun 1-2 g/dm³ civarında olması etken bir uranyum çözünmesi için yeterlidir. Her iki denemede de 4. saatte % 100'e varan bir verim elde edilmiştir.

5.2.3. H_2SO_4 Sistemine H_2O_2 Oksitleyicisinin Etkisi

Çeşitli araştırmacılarca belirtildiği gibi MnO_2 nin dolaylı bir oksitleyici olması [27,31,42], Eligwe ve arkadaşlarınca [28] belirtildiği gibi bazı çevresel etkilerin

Tablo 5.6. Uranyum Çözünürlüğüne MnO_2 konsantrasyonunun etkisi.

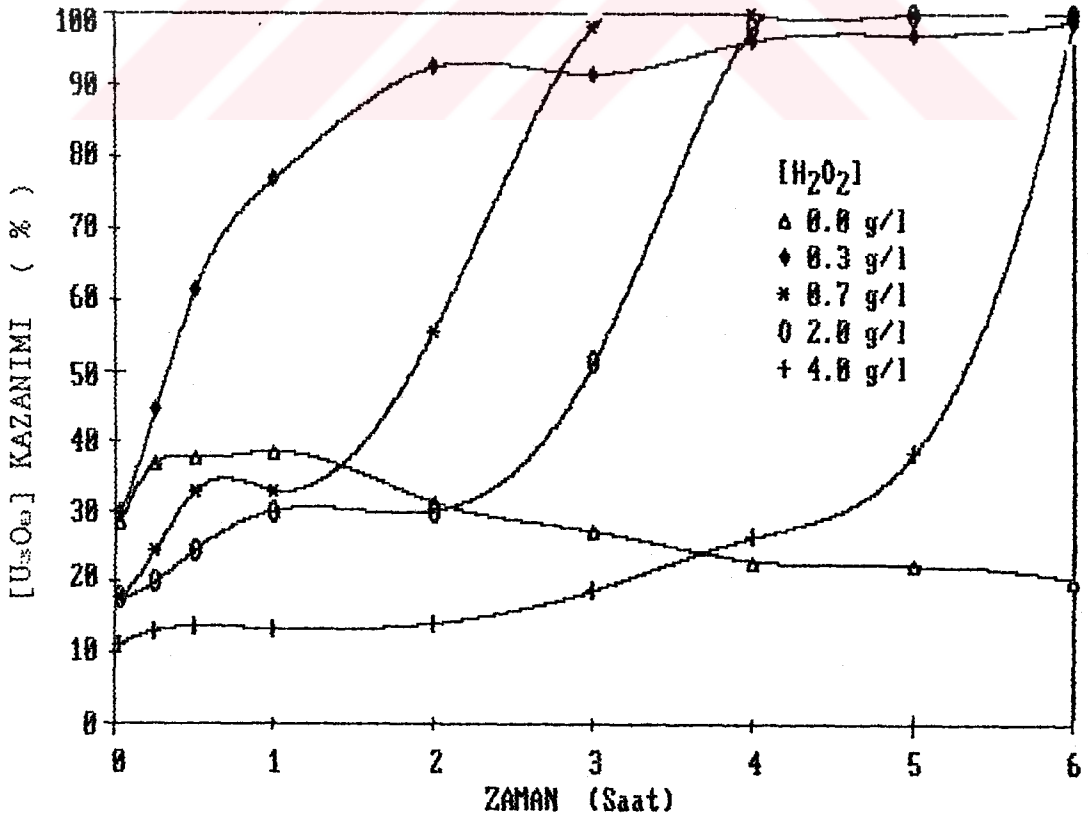
	0.1 M H_2SO_4		
[MnO_2]	-	2 g/l	8 g/l
θ (saat)	[U_3O_8] (%)		
0.033	28.59	48.58	38.02
0.250	36.98	52.73	54.52
0.500	37.83	61.31	63.20
1.000	38.68	75.92	74.13
2.000	31.51	88.65	79.22
3.000	27.36	92.42	92.42
4.000	23.22	100.00	99.96
5.000	22.46	100.00	100.00
6.000	20.48	100.00	100.00

bulunması ve de aynı hususların NaClO_3 içinde geçerli olması yüzünden, doğrudan oksitleyici özelliği olan bir oksitleyicinin incelenmesine karar verilmiştir. Çeşitli araştırmacılarca temiz ve uygun bir oksitleyici olarak gösterilen H_2O_2 nin denenmesi kararlaştırılmıştır [22,32]. H_2O_2 kullanılması ile uranyumun global oksidasyon reaksiyonu (2.11) nolu reaksiyonla gösterilmiştir.

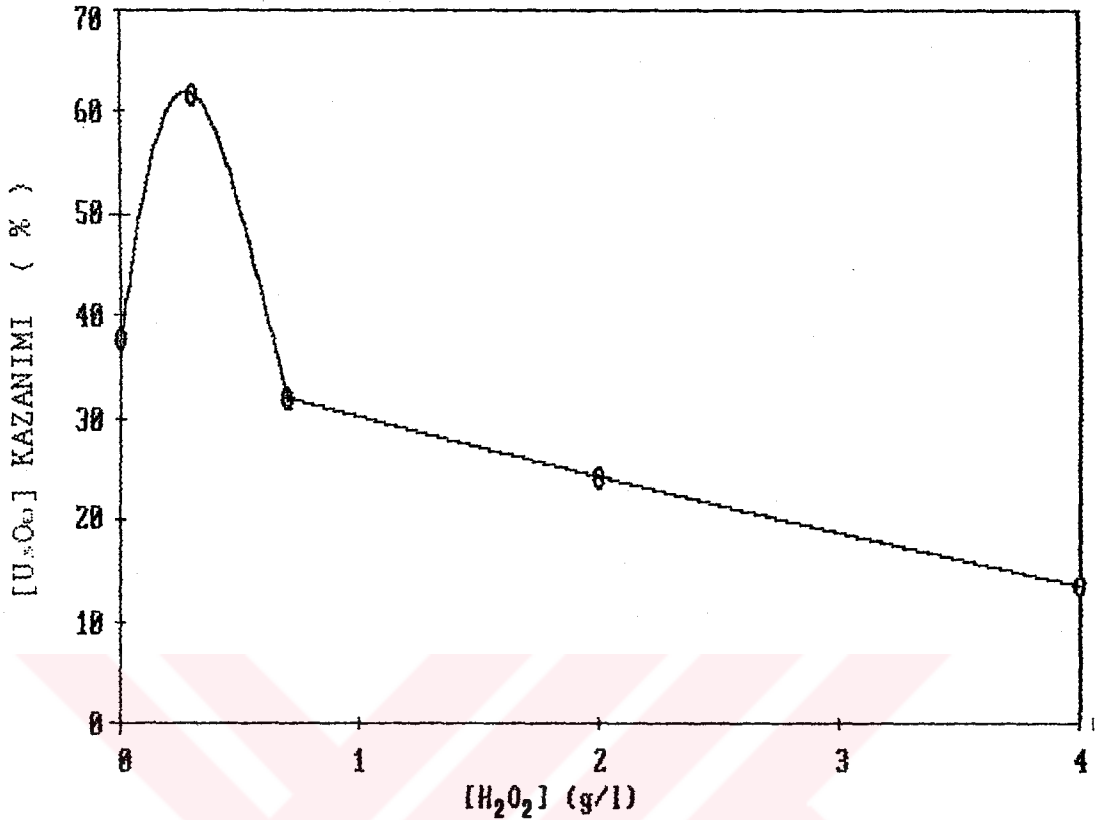
Yozgat-Sorgun-Temrezli uranyum cevherine H_2O_2 nin, H_2SO_4 sistemindeki oksitleyici etkisini incelemek maksadıyla ilkin 2 g/l H_2O_2 kullanılarak bir deneme yapılmıştır. Bu deneme esnasında başlangıçta 1.08 olarak ölçülen pH 15. dakikada 1.48'e çıktıktan sonra sabitleşmiştir. Şekil 5.10 dan da görüleceği üzere ilk 2 saatte yüksek bir çözünme hızı elde edilmemesine karşın, 2 saati takiben ekstraksiyon veriminin hızla arttığı görülmüştür. 4. saati takiben % 90 nın üstünde bir verime ulaşıldığı gözlenmiştir. Ekstraksiyon eğrisinde görülen bu kararsızlığa rağmen, H_2O_2 nin oksitleyici etkisi sayesinde 6. saatte % 100'e varan bir uranyum verimi elde edilmiştir. İlk iki saat içerisinde gözlenen verimdeki düşüklüğün nedeni araştırılmıştır. Bu sebeple 0.3-0.7 ve 4 g/l H_2O_2 kullanılarak 3 ilave deneme daha yapılmıştır. Çözelti pH'ları ilk deneme ile tamamen uyumlu bir gelişim göstererek 1.08 den 15. dakika sonrası 1.5'e ulaşarak sabitleşmiştir. Tüm denemelerde numune almak maksadıyla, çalkalama işleminin durdurulması esnalarında hızlı bir çökeltme ve üstte berrak çözelti oluşumu gözlenmiştir. Bu ekstraksiyon denemelerine ait eğrilerde Şekil 5.10 da görülmektedir. H_2O_2 nin kullanıldığı bu 4 denemede 6 saat içinde % 90 nın üstünde bir verim elde edilmiştir. H_2O_2 konsantrasyonunun 0.3 ten itibaren artışı sistemin dengesine ilk saatler içinde olumsuz etki yapmaktadır. Değişim nedeni fazla olursa yüksek verime ulaşmada o denli gecikmektedir. Bu dengesiz ekstraksiyon gelişimlerinin (2.12) nolu reaksiyona bağlı olarak gerçekleşebileceği anlaşılmaktadır. Söz konusu reaksiyondan da görüleceği üzere hidrojen peroksit konsantrasyonunun artması çözünmüş olan uranyumun bir yandan da çökeltmesine yol açmaktadır. Cevher içinde bulunan uranyumun tamamının hidrojen peroksitçe

oksitlemesi için 0.3 g/l H_2O_2 yeterli seviyedir. Bu değerin üstünde ise H_2O_2 konsantrasyonu aşırı hale geldiğinden uranyum peroksit çökmesi oluşmaktadır. H_2O_2 nin hızlı dekompozisyonu sonucu, konsantrasyonun optimum değere inmesini takiben, ekstraksiyon hızının kararlı bir hale geldiği görülmektedir.

Şekil 5.11 de ortam sıcaklığında gerçekleştirilen bu denemelerin 30. dakikada ki verimle H_2O_2 derişimi arasındaki ilişki görülmektedir. Şekil 5.11 nin incelenmesi sonucunda 0.3 g/l lik H_2O_2 konsantrasyonunun optimum verime sahip olduğu sonucuna varılarak asit tüketimi ölçülmüştür. 6. saat sonunda 63.5 kg/t cevher olarak hesaplanmıştır. Bu değer MTA nin, aynı verime karşılık verdiği asit tüketimi olan 100 kg/t cevher değerinden daha azdır. Gerçek MTA sonucu gerekse oksidansız gerçekleştirilen denemeler, oksitleyici kullanımının asit tüketimini azalttığını ve daha düzgün bir ekstraksiyon gelişimi sağladığını göstermektedir.



Şekil 5.10. H_2O_2 Konsantrasyonunun Etkisi.



Şekil 5.11. H₂O₂ Konsantrasyonunun Sabit Zamanda Uranyum Çözünürlüğüne Etkisi.

5.2.4. Caro Asidiyle Yapılan Ekstraksiyon Denemeleri

Caro asidi adıyla tanınan permonosülfürik asid (H_2SO_5) uranyum ekstraksiyonu için önerilen en yeni liksiviant sistemlerinden birisidir [16,33,42]. Caro asidi uranyum kazanılmasını maksimum düzeyde arttırmaktadır. H_2SO_5 in uranyumu doğrudan oksitleme özelliği olduğu (2.14) nolu denklemden görülmektedir. Bu üstün özellikleri yüzünden, çeşitli araştırmacılarca önerilen yöntemle bağlı olarak Caro asidi bölüm 4.3.2 de anlatıldığı gibi üretilmiş ve 10°C'ın altında muhafaza edilmiştir [35,36]. Bölüm 4.3.2 de verilen denge değerlerinden ortalama molekül ağırlığı 105.88 g/mol olarak belirlenmiştir. Dengede % 31.2 H_2SO_5 ile % 56.8 H_2SO_4 içerdiğinden % 88'inin aktif reaktan dan oluştuğu

hesaplanmıştır.

Laboratuarda hazırlanan bu asitten % 0.15, 0.8, 2 ve 3'lük çözeltiler hazırlanarak yapılan 4 ayrı ekstraksiyona ait sonuçlar Şekil 5.13 de gösterilmiştir. Bu denemelerde:

- % 0.15 lik çözelti ile yapılan denemede pH başlangıçta 1.8 ölçülmüş, 15. dakikada 5.4'e ulaşmıştır. 1. saatte ise pH'nın 6'ya çıktığı görülmüştür. pH'nın bu denli değişiminin ekstraksiyona etkisi olumsuz olmuştur.

- % 0.8 lik sistemde ilk pH 1.08 olarak ölçülmüş, 30. dakikada ise 1.8'e ulaşmıştır. pH'da daha sonra bir değişiklik görülmemiştir.

- % 2 lik Caro asidi çözeltisiyle yapılan denemede pH başlangıçta 0.82 ve 15. dakika ve sonrasında ise 0.91 olarak ölçülmüştür.

- % 3 lük sistemde başlangıçta 0.6 olarak ölçülen pH'nın ise 15. dakikadan itibaren 0.73 te sabit kaldığı görülmüştür.

Her 4 denemede de numune alımları esnasındaki duraklamalarda hızlı bir çökme ve üstte berrak bir çözelti oluşumu gözlenmiştir. % 0.8 lik sistemde 2. saatte % 96 nın üstünde bir verime ulaşılmıştır. % 3 lik Caro asidi kullanımında bu süre bir saat civarına inmektedir. 0.1 M H_2SO_4 sistemine denk olan % 0.8 lik Caro asidi denemesinin asit tüketimi ölçülmüş ve 70.3 kg/t cevher olarak bulunmuştur. Bu değerde MTA tarafından verilen değerden daha düşük, ancak 0.1 M H_2SO_4 - 0.3 g/l H_2O_2 sisteminden biraz daha yüksektir.

Şekil 5.12 den görüldüğü üzere Caro asidi başlangıç konsantrasyonu ile uranyum ekstraksiyon hızı arasında bir ilişki mevcuttur. Bu ilişkiyi bulmak amacıyla çeşitli araştırmacılarca da önerildiği gibi uranyum ekstraksiyon hızları belirlenmek istenmiştir [26,27,28,42]. Bunun için Caro asidiyle yapılan denemelerde elde edilen verilerden çözünme hızları tesbit edilmiştir. Bu değerlerden hareketle modifiye edilmiş van't Hoff denklemi yardımıyla reaksiyon mertebesi, n türetilmektedir. Aşağıda verilen denklemde V uranyum ekstraksiyon hızını, k tüm reaksiyon

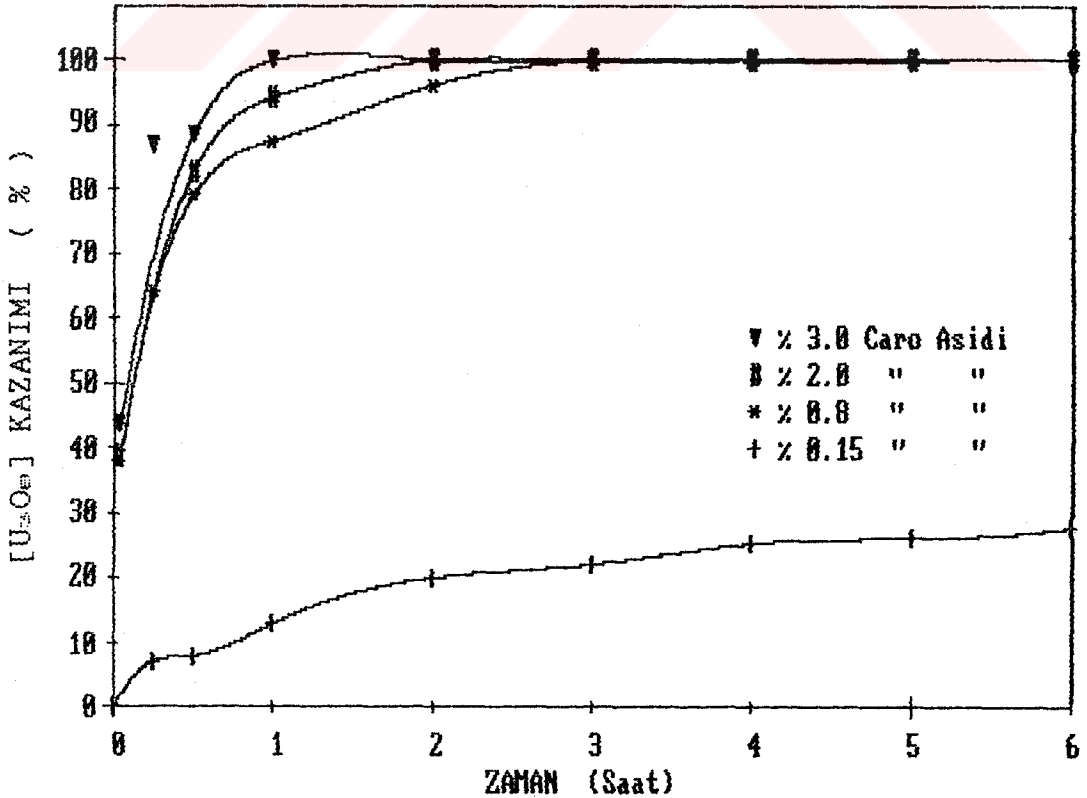
hız sabitini ve C reaktanın başlangıç konsantrasyonunu göstermektedir.

$$V = k C^n \text{ mol/l.min} \quad (5.3)$$

Her iki tarafın logaritması alınarak elde edilen (5.4) nolu denklem doğrusaldır. $\log V$ 'ye karşın $\log C$ 'nin regresyon analizi bir doğru vermektedir. Bu denklemin eğimi n 'yi, kesimin anti $\log$ 'u ise k 'yı vermektedir.

$$\log V = \log k + n \log C \quad (5.4)$$

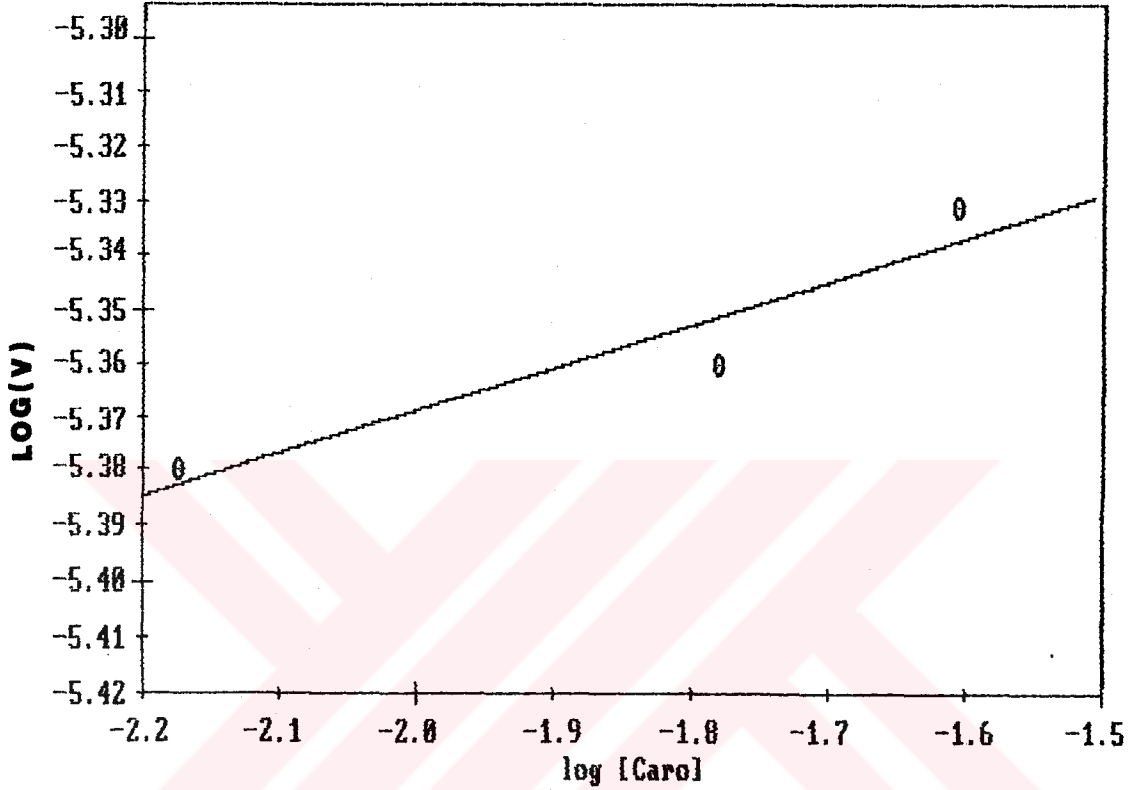
Bu inceleme esnasında kararlılığını koruyamadığı için % 0.15 lik çözelti dikkate alınmamıştır. Dolayısıyla reaksiyon mertebesi % 0.8 - 3 Caro asit konsantrasyonları arasında hesaplanmıştır. Bu aralıkta $\log V$ ile $\log C_{\text{Caro}}$ arasındaki ilişkiyi veren grafik Şekil 5.13 da görülmektedir. Bu değerlere uygulanan regresyon analizi ile hız sabiti $6.1845 \cdot 10^{-4}$ bulunurken, mertebe Caro asidi başlangıç konsantrasyonunun 0.08 üssü olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5.12. Caro asidi Konsantrasyonunun Etkisi.

Regresyon hız ifadesini veren ampirik denklem aşağıda belirtildiği gibidir.

$$V = 6.1845 \cdot 10^{-6} [\text{Caro}]^{0.08} \text{ mol l}^{-1} \text{ min}^{-1} \quad (5.5)$$



Şekil 5.13. van't Hoff Metodu kullanılarak Caro Asidi Konsantrasyonuna Bağlı Regresyon Mertebesinin Tayini.

5.2.5. Sonuçların Değerlendirilmesi

Çeşitli asidik sistemlerin liksiviant olarak kullanılmasıyla yapılan uranyum ekstraksiyon deneyleri ve bunların sonuçları önceki kısımlarda özetlenmiştir. Bu asidik sistemlerden, 0.1 M H_2SO_4 'ün oksidansız kullanıldığı deneme hariç diğerleri olumlu sonuç vermiştir. Oksidansız yapılan bu deneme haricindeki diğer bütün deneylerde, ekstraksiyonun başlangıcında, ilk 15 dakikadaki ufak değişiklikler dışında pH'larda kayda değer bir değişiklik ölçülmemiştir.

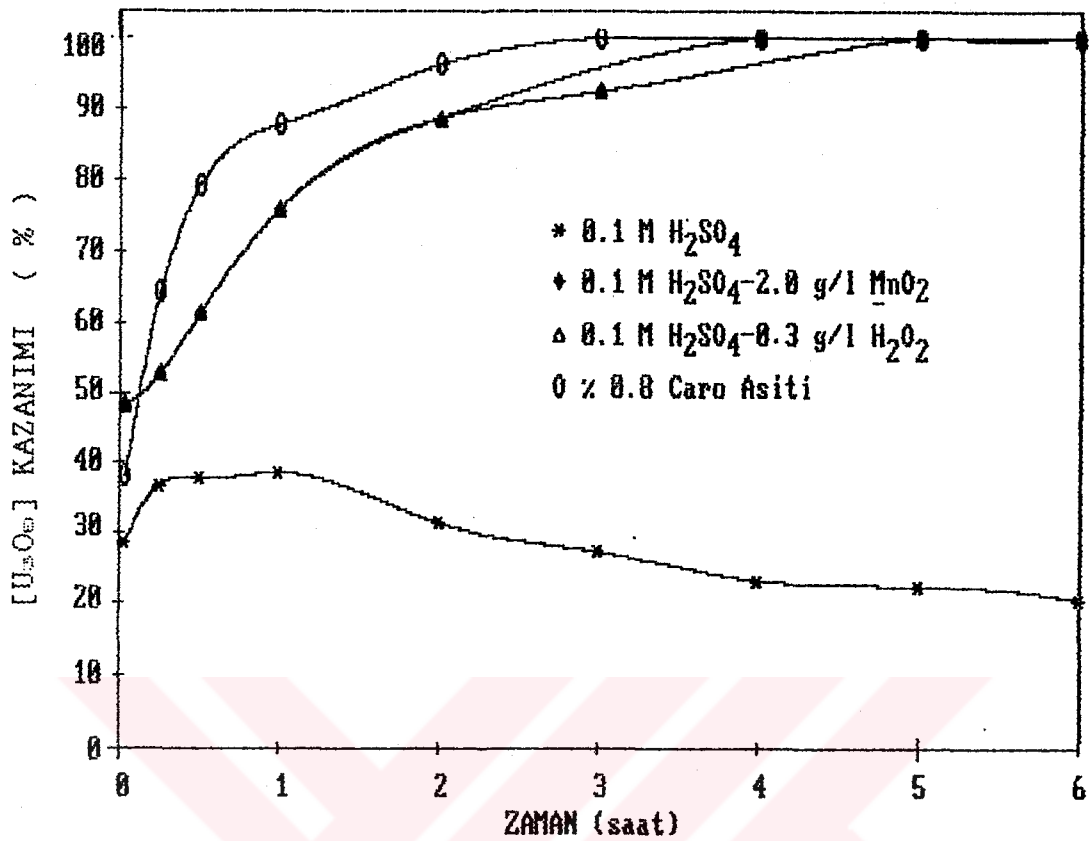
HNO_3 sahip olduğu oksitleyici özelliğe rağmen, oksitleyici kullanılan H_2SO_4 sistemlerinin ve Caro asid sistemlerinin ekstraksiyon verimlerinden daha düşük bir verim sağlamıştır. HNO_3 için 6. saattaki verim % 73.4 mertebesinde kalırken, diğerlerinde % 90'ın üstündedir.

Sülfürik asid sistemine oksitleyici katılması zorunlu görülmektedir. Ancak MnO_2 'nin olumlu değerlerine karşın dolaylı bir oksitleyici olması ve çevre problemleri yaratması tercihinde olumsuz faktör olmuştur. Üstelik konsantrasyonundaki artışın önemli bir katkısı yoktur. H_2O_2 sahip olduğu ideal oksitleyici özelliklerden dolayı sülfürik asit sisteminde de kullanılması zorunlu olmaktadır. Ancak yüksek konsantrasyonlarda kullanılması problem yaratmaktadır. Bu durumlarda çözünen uranyum peroksiuranyum olarak çökmeye başlamaktadır. Bu durum H_2O_2 'nin optimum konsantrasyona inmesine dek etkisini sürdürmektedir.

Caro asidi oksitleyici özellikleri ve yüksek stabilitesi sayesinde Yozgat-Sorgun-Temrezli uranyum cevheri için uygun bir liksiviant olarak görülmüştür. Derişiminin artışının çözünürlük hızını arttırdığı Şekil 5.12 ve 5.13 dan görülmektedir. Ancak ekonomik faktörler yüzünden % 0.8 uygun bir seviye olarak yeterli görülmektedir.

0.1 M H_2SO_4 -0.3 g/l H_2O_2 ve % 0.8 Caro asidi en uygun asidik çözücüler olarak tespit edilmiştir. Sülfürik asit için asit tüketimi 63.5 kg/t cevher iken, Caro asidi için bu değer 70.3 kg/t cevher olarak tespit edilmiştir. Bu her iki değer de MTA'nın 100 kg/t cevher değerinden daha iyi olup, oksitleyici kullanılmasından dolayı daha düşük çıkmış olduğu anlaşılmıştır. Şekil 5.14 çeşitli asit sistemlerinin karşılaştırılmasını vermektedir.

En iyi asidik sistemi olarak belirlenen 0.1 M H_2SO_4 0.3 g/l H_2O_2 sistemiyle gerçekleştirilen ekstraksiyon denemesinin sağlaması mahiyetinde 4.5 numaralı bölümde anlatılan yöntem çerçevesinde uranyum kütle dengesi hesaplaması yapılmış ve ekstraksiyon işlemine ait kütle dengesinin % 97.8 mertebesinde sağlandığı görülmüştür.



Şekil 5.14. Asidik Sistem Ekstraksiyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

5.3. ALKALİ SİSTEMLERLE YAPILAN EKSTRAKSİYON DENEMELERİ

Bölüm 5.2. de de belirtildiği gibi Yozgat-Sorgun Temrezli uranyum rezervine minerolojik tetkik sonucu uygun bir çözücü sistemi kararlaştırılamamış ve gerek asit, gerekse alkali sistemlerin denenmesi ve optimum sistemin bulunmasına çalışılmıştır. Çeşitli araştırmacılar bölüm 2.2.1. de de anlatıldığı gibi sodyum, potasyum ve amonyum karbonat/bikarbonat sistemlerinin alkali sistemler olarak kullanılabileceğini, bunların bir birlerine ve asit sistemlere karşı olan çeşitli üstünlük ve sakıncalarını belirtmişlerdir [22,25,31]. MTA tarafından yapılan rezerv miktarı ve tenör tespitinde, Yozgat-Sorgun-Temrezli yatağının bazı kısımlarında yüksek karbonatlı cevhere rastlanmış ve bu yüksek karbonatlı cevher sarı cevher olarak

tanımlanmıştır. Tablo 5.1 de görüldüğü gibi MTA tarafından sahayı temsilen hazırlanan harmanlanmış cevherde de % 3 civarında sarı cevher bulunmaktadır [90, 91]. MTA da Teknoloji Dairesinde sarı cevherle yapılan ekstraksiyon denemelerinde aşırı bir asit tüketimi gözlenmiştir [92]. Yöreyi temsil etmek üzere hazırlanmış numunede yukarıda belirtildiği üzere % 3'ün üstünde bulunan bu yüksek karbonatlı numunenin harman cevherde de asit tüketimini yükseltebileceği düşünülmüştür. Ayrıca cevherin kimyasal analiz sonucu % 3'e yakın CO_2 içerdiği, x-ışınları analizince de yapıda CaCO_3 'ın mevcut olduğu tespit edilmiştir. Bütün bu faktörlerin yanında alkali çözeltilerin yerinde ekstraksiyonda asidik çözeltilere karşın daha az restorasyon problemi yarattığı da bilinmektedir. Bunlar gözönüne alınarak Yozgat-Sorgun-Temrezli cevherine alkali ekstraksiyonun uygulanması ve alkali ekstraksiyon parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

5.3.1. Alkali Türünün Etkisi

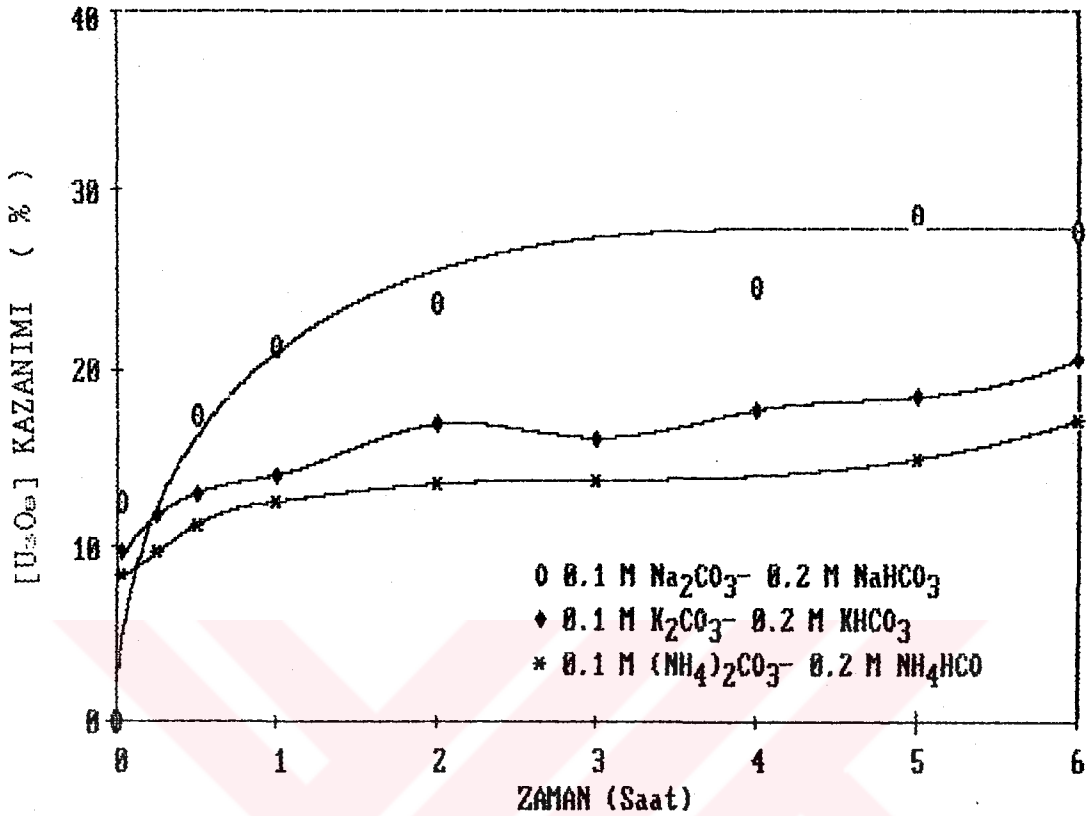
Önceki çalışmalarımızın ışığında yöre cevheri üzerine aşağıda derişim ve türleri verilen çözücüler oksitli ve oksitsiz olarak kullanılmıştır:

0.1 M Na_2CO_3 - 0.2 M NaHCO_3 sistemi

0.1 M K_2CO_3 - 0.2 M KHCO_3 sistemi

0.1 M $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ - 0.2 M NH_4HCO_3 sistemi

a) Oksitsiz Denemeler : Bölüm 2.1 de anlatıldığı gibi +6 değerlikli uranyumun çözünürlüğü, çözücü içindeki CO_3^{--} iyonlarının varlığına bağlıdır. Bu arada açığa çıkan OH^- iyonlarının pH'ı arttırmaması için ortama HCO_3^- iyonu ilavesi gerekmektedir. (2.9) nolu reaksiyon uyarınca $\text{CO}_3^{--}/\text{HCO}_3^-$ iyonlarının oranı 1/2 olmalıdır. Bu durum göz önüne alınarak yukarıda belirtilen çözücü sistemleriyle oksitsiz olarak ön ekstraksiyon denemeleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.15. Oksitsiz Ortamda Alkali Seçimi.

İlk deneme 0.1 M Na₂CO₃- 0.2 M NaHCO₃ içeren çözeltiyle yapılmıştır. Çözeltinin başlangıç pH'sı 9.53 olarak ölçülmüş, 5. saat sonunda pH'nın 9.7 civarına ulaştığı, dolayısıyla kayda değer bir değişme göstermediği gözlenmiştir. Na sisteminin yapıda parçalanmaya yol açtığı numune alımları esnasındaki kesintilerde gözlenmiştir. Berrak çözelti alabilmek amacıyla 10 dakika beklenmek zorunda kalınmış, bu süre sonunda bile 3 ayrı bölgeyi bir karışım elde edilmiştir. Bunlar altta katı, arada süspansiyon kısımlarıyla üstteki berrak çözelti kısımlarıdır. Berrak kısmın yinede istenen berraklıkta olmaması numunede uranyum ölçümü öncesi hafif bir vakum altında filtrasyon yapılmasını gerekli kılmıştır.

0.1 M K₂CO₃-0.2 M KHCO₃ çözeltisinin başlangıç pH'ı 9.45 olarak ölçülmüş ve pH'nın 5. saat sonunda 9.7 ye ulaştığı ölçülmüştür. Numune alımları esnasındaki katı

sıvı ayrımının Na sistemine nazaran biraz daha iyi olduğu görülmektedir.

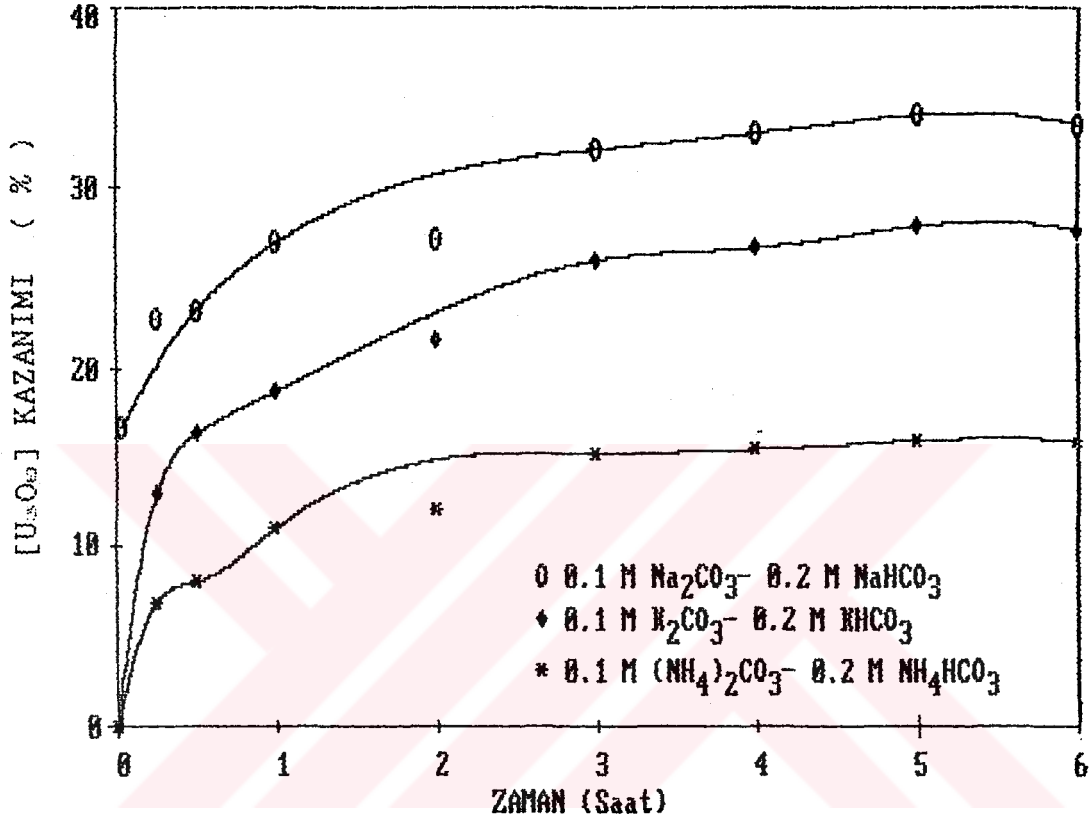
0.1 M $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ -0.2 M NH_4HCO_3 çözeltisinin Başlangıç pH'sı düşük olduğundan NH_3 ile pH 9.5 a ayarlanmış ve deneme sonucu pH'nın değişmediği, ayrıca berraklaşmanın da diğerlerine karşın daha hızlı geliştiği gözlenmiştir.

Sodyum, potasyum ve amonyum sistemlerine ait ekstraksiyon sonuçları Şekil 5.15'da gösterilmiştir. Şekilin incelenmesiyle anlaşılabacağı gibi ekstraksiyon süresi arttıkça ekstrakte edilen uranyum miktarı artış göstermektedir. Ancak verimler asidik sistemlere kıyasla çok düşük çıkmıştır. Sodyum sisteminde 6. saattaki verim % 29 olarak elde edilirken, diğer alkali çözücülerle % 20'nin altında bir verim sağlanmıştır. Bölüm 5.2.1 de de belirtildiği üzere oksitsiz sülfürik asit sisteminin 6. saatki verimi % 20 olarak ele geçmişti.

b)Oksitli Denemeler : Alkali sistemlerle oksitleyici kullanmadan gerçekleştirilen deneyler çok düşük verimler gösterince, Yozgat-Sorgun-Temrezli rezervinde +4 değerlikli uranyumun mevcudiyeti düşünülmüştür. Önceki bölümlerde anlatıldığı gibi +4 değerlikli uranyumun oksitleyici kullanmadan çözülmesi alkali sistemler için mümkün değildir. Dolayısıyla cevher üzerine oksitleyicinin etkisini araştırmak için 0.6 g/l konsantrasyonda hidrojen peroksit ilave edilerek denemeler yürütülmüştür. Denemeler oksitsiz gerçekleştirilen deneylerde kullanılan aynı çözeltilerle gerçekleştirilmiştir. Deney süresince yapılan ölçümlerde kayda değer bir pH değişikliği ölçülmemiştir. Deney sonuçları Şekil 5.16 da sunulmuştur. Çözeltilerin berraklaşma hızları oksitsizlerdekinin aynı sırayı korumuştur. Oksitleyici kullanılmasında sodyum ve potasyum sistemlerinde verim % 50 artmıştır.

Deney sonuçlarının ikişer ikişer karşılaştırılması sonucunda H_2O_2 Na ve K da verim artışına yol açarken, NH_4 sisteminde etkisiz kalmıştır. Sodyum sisteminin yapıda parçalanmaya yolaçmasına karşılık, en yüksek verimleri

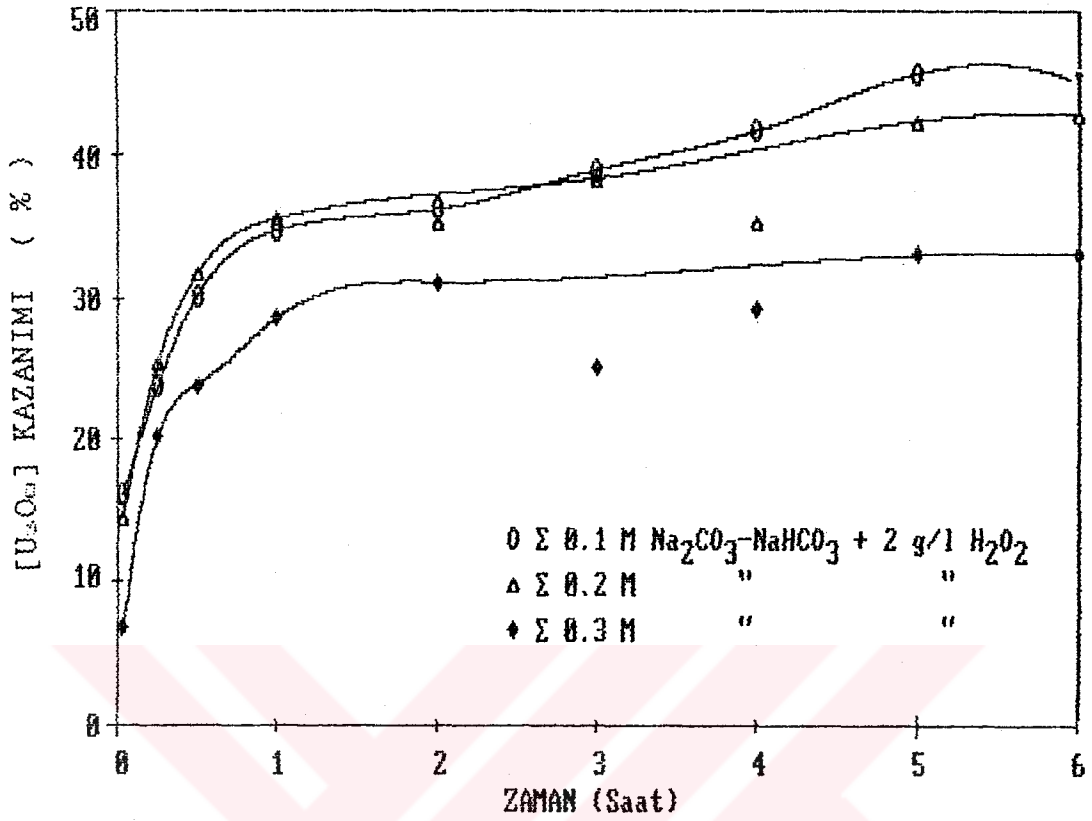
sağlaması ve De Vries'nin de [94] belirttiği üzere NH_4 'e nazaran daha az çevre problemi yaratması yüzünden, Yozgat-Sorgun-Temrezli cevheri için, bundan sonraki aşamalara temel olarak kabul edilmiştir.



Şekil 5.16. Oksitli Ortamda Alkali Etkisi.

5.3.2. Toplam Alkali Konsantrasyonunun Etkisi

Düşük tenörlü bir uranyum rezervi olan Yozgat-Sorgun-Temrezli cevheri içindeki uranyumun U_3O_8 olarak karşılığı % 0.133 tespit edilmişti. Aşağıdaki reaksiyon uyarınca çözeltiye geçecek uranyumun gereksindiği teorik $[\text{CO}_3^{2-}]$ ve $[\text{HCO}_3^-]$ konsantrasyonları sırasıyla yaklaşık $4.74 \cdot 10^{-4}$ mol/100 g cevher ve $9.48 \cdot 10^{-4}$ mol/100g cevher olarak hesaplanmaktadır. Ancak cevherdeki diğer minerallerinde alkali tüketimine yol açabileceği göz önüne alınarak CO_3^{2-} ve HCO_3^- miktarları yüksek tutulmuştur.



Şekil 5.17. Toplam Alkali Konsantrasyonunun Etkisi.



Bilindiği üzere uranyumun çözünürlüğünde en etkin parametre pH dır. Alkali çözücülerle karbonat, bikarbonat miktarlarındaki değişiklik alkali çözeltisinin pH sınırda değiştirmektedir. Dolayısıyla karbonat, bikarbonat miktarları ve pH birbirlerine bağlı bulunmaktadır. Bu sebeple çözelti pH larının sabit tutulabilmesi için CO_3^{2-} ve HCO_3^- oranları sabit tutularak toplam karbonat miktarı değiştirilebilir. Çözelti pH ı 9.79 olacak şekilde toplam karbonat miktarı 0.1 M, 0.2 M ve 0.3 M olmak üzere üç ayrı ekstraksiyon denemesi gerçekleştirilerek ekstraksiyon verimleri incelenmiştir. Denemelerde CO_3^{2-}/HCO_3^- oranı 1/2 tutulmuş, oksitleyici olarak 2 g/l H_2O_2 kullanılmıştır. Şekil 5.17 bu denemelere ait deney sonuçlarını göstermektedir. Sonuçların incelenmesi toplam alkali miktarının

artışının verime olumsuz etki yaptığını ve en yüksek verimin toplam karbonat konsantrasyonu 0.1 M olan çözelti ile elde edildiğini göstermiştir.

5.3.3. $[\text{CO}_3^{2-}]/[\text{HCO}_3^-]$ Oranının Etkisi

Yukarıda bahsedilen çalışmalar sonucunda toplam 0.1 M karbonat konsantrasyonu içeren sodyum sisteminin en uygun alkali ekstraksiyon sistemi olarak tespit edilmesinden sonra bu çözeltideki Na_2CO_3 ve NaHCO_3 miktarlarının değiştirilmesiyle pH'nın ekstraksiyona etkisi araştırılmıştır. Toplam karbonat miktarı 0.1 M olacak şekilde pH'ları sırasıyla 9.05, 9.51, 9.88, 10.23 ve 10.53 olan 5 ayrı ekstraksiyon denemesi yapılmıştır. Her çözeltiye 2 g/l H_2O_2 ilavesi yapılmış ve Tablo 5.7 de verilen sonuçların incelenmesi sonucu pH sı 10.53 olan ekstraksiyon çözeltisi kullanımında 6. saatte % 56 lık bir ekstraksiyon verimi elde edilmiştir. Denemeler süresince pH'nın önemli bir değişiklik göstermediği tespit edilmiştir.

5.3.4. Sonuçların Değerlendirilmesi

Yozgat-Sorgun-Temrezli uranyum rezervinin değerlendirilmesi için başlatılan çalışmalarda, minerolojik tetkikin ardından asit sistemleri uygun çözücü seçiminde kullanılmıştır. Asit sistemlerle yapılan denemelerde de 0.1 M H_2SO_4 -0.3 g/l H_2O_2 bileşimli çözücü ile Caro asidinin en optimum sonuçları verdiği gösterilmiştir. Ancak yerinde ekstraksiyon yöntemi uygulamasında asit sistemlerin kullanımının bazı restorasyon problemleri yarattığı ve özellikle kireç içerikli topraklarda yüksek asit tüketimiyle tıkanmaya yol açabildiği bilinmektedir. Bu olumsuz faktörler ve alkali sistemlerin sağlayabileceği üstünlükler göz önüne alınarak ekonomik bir kıyaslama yapabilmek amacıyla alkali çözücülerin incelenmesinde yarar görülmüştür.

Tablo 5.7. Toplam 0.1 M Na_2CO_3 - NaHCO_3 sisteminde Karbonat Bikarbonat oranıyla pH'nın Etkisi (2 g/l H_2O_2).

Na_2CO_3	0.015	0.030	0.050	0.070	0.085
NaHCO_3	0.085	0.070	0.050	0.030	0.015
pH	9.05	9.51	9.88	10.23	10.53
ZAMAN	[U_3O_8] (%)				
0.033	16.92	16.16	17.18	15.07	14.21
0.250	24.19	23.85	21.99	17.35	14.22
0.500	28.59	30.85	25.54	23.01	22.25
1.000	32.98	34.19	34.08	31.54	26.90
2.000	35.60	36.19	42.62	41.01	41.44
3.000	39.99	38.90	42.78	46.50	48.19
4.000	40.11	41.60	42.11	45.57	50.64
5.000	42.78	45.58	47.77	56.56	50.82
6.000	43.97	44.90	50.05	54.36	56.31

Bilindiği gibi uranyum ekstraksiyonunda 3 değişik alkali, sodyum, potasyum ve amonyum kullanılabilmektedir. Bu üç sistemden biri bir cevhere daha etkili olurken, bir başkasıda bir diğerine etkin olmaktadır. Örneğin Aydın-Küçükçavdar da sodyum sistemi olumlu sonuç verirken, Yozgat'ın ikinci bir cevheri olan Şefaattli'de amonyum sistemi uygun liksiviant olarak tesbit edilmiştir [7,9]. Bu bilgi ve tecrübelerin ışığında Yozgat-Sorgun-Temrezli cevherine hangi alkalinin etkili olduğuna karar vermek için her üçünde değerlendirilmesi faydalı görülmüştür. Aynı bileşimlerde alınan ve gerek oksitleyicisiz gerekse oksitleyicili yapılan denemelerde sodyum sisteminin en etkin oksitleyici olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak uygun çözücü sistemi seçiminde kullanılan derişimler yardımıyla elde edilen verimler asidik sistem verimlerinin altında kalmıştır. Sistem seçimi için oksitli ve oksitsiz deney sonuçlarının kendi aralarında değerlendirilmesi oksitleyici kullanımının gerekliliğini göstermiştir.

Oksitleyici kullanımının faydası görüldüğünden ikinci aşama alkali ekstraksiyon denemelerine gerek duyulmuştur. İkinci aşamada alkali verimleriyle asid verimlerine yaklaşılmaya çalışılmıştır. Ön denemelerde en uygun ekstraksiyon çözeltisi tesbit edilen sodyum sisteminin H_2O_2 oksit-

leyicisiyle uranyum çözünürlük hızını arttırmanın yolları aranmıştır.

Alkali sistemler önceki kısımlarda açıklandığı üzere karbonat ve bikarbonat içeriklidir. Bu özellikle pH'nın istenen mertebede kalması için gereklidir. Bunların birbirlerine oranları pH'a etki ederken sabit oranda, farklı miktarlarda kullanımlarının pH'a etkisi yoktur. Yapıda bulunan diğer maddelerde alkali tüketimine etki etmektedir. Ancak bunların aşırı miktarlarda olmalarıda çözünmeye etki etmektedir. Dolayısıyla alkali ekstraksiyon denemelerinde, CO_3^{--} ve HCO_3^{--} oranları sabit tutularak miktarının azaltılmasına yönelik olmuş ve ilgili kısımda da anlatıldığı üzere toplam 0.1 M Na_2CO_3 - NaHCO_3 kullanımında en uygun değerler elde edilmiştir. Bu denemelerde verimin dahada arttırılması, alkali sistem kullanımıyla asidik sistemlerin verimine yaklaşılabileceği yargısına varmamıza yol açmıştır. Bu olumlu gelişmenin ışığında, karbonat ve bikarbonat oranları kendi aralarında değiştirilmiştir. Bu oranın değişmesi pH'ya etki etmekte ve pH'nın bu değişmesinin verime etkisi bilinmektedir. Bu kademede gerçekleştirilen denemelerde de 0.085 M Na_2CO_3 0.015 M NaHCO_3 2 g/l H_2O_2 kullanımıyla en uygun verime ulaşılmıştır. pH 10.53 gibi yüksek bir değer de ölçülmüşse de, deney süresince değişmemesi ve kararlı bir ekstraksiyonun gerçekleşmesi bu sistemin seçimine en çok etki eden neden olmuştur. Bu sistem en uygun alkali olarak bulunmuşsa da verimi yinede sülfürik asit sistemiyle elde edilen verimin altında kalmıştır. % 56'lık bir verim elde edildiği bu denemede alkali tüketimleri cevher tonu başına Na_2CO_3 için 15.9 kg, NaHCO_3 için ise 12.6 kg olarak tespit edilmiştir. Düşük alkali tüketimi ve restorasyon aşamasındaki üstünlüğü yüzünden bu sistemin yerinde ekstraksiyon uygulamasının ileri aşamalarına yönelik olarak incelenmesi yararlı görülmektedir.

Alkali sistemlerde karşılaşılan en önemli problem sodyumun yapıda meydana getirdiği parçalanmadır. Bu da sistemin yerinde uygulamasında önemli bir problem yaratabilir görülmektedir. Çözeltilerden numune alımlarında sistemde

10 dakikaya kadar çıkartılan bekleme süreleri alınan numunelerin istenilen berraklıkta olmasına yetmemiştir. Bu yüzden de numunelerin sağlıklı analizi için ayrıca filtrasyon yapılmasına gerek duyulmuştur.

En iyi alkali sistemi olarak tespit edilen 0.085 M Na_2CO_3 - 0.015 M NaHCO_3 - 2 g/l H_2O_2 sistemiyle gerçekleştirilen ekstraksiyon denemelerinin sağlaması mahiyetinde olmak üzere, 4.5 numaralı bölümde anlatılan yöntem çerçevesinde uranyumun kütle dengesi hesaplaması yapılmış ve ekstraksiyon işlemlerine ait kütle dengesi % 98.5 mertebesinde elde edilmiştir.

5.4. OTOKLAV DENEMELERİ

Herhangi bir cevhere yerinde uranyum ekstraksiyon yönteminin geçerli olup olmadığının karar aşamasında en önemli aşamalardan biri önceki kısımlarda da belirtildiği gibi teknolojik çalışmalardır. Teknolojik çalışmalar çeşitli kademelerden oluşmaktadır. Bu kademelerin başında da uygun ekstraksiyon sisteminin ve bu sistemin uygulanma koşullarının tespiti gelmektedir. Çalkalayıcılarla gerçekleştirilen denemeler uygun çözücü sisteminin tespitinde kullanılan en hızlı yöntemdir. Ancak bu tür denemelerle çözücü sistemlerinin genel maksatlı kullanılabilen optimum konsantrasyonları tespit edilebilmektedir. Yerinde ekstraksiyonda ise çalkalayıcıda kontrol altında tutulamayan daha başka etken parametreler de mevcuttur. Çalkalayıcı ile etkinliği incelenemeyen bu parametreler basınç ve sıcaklıktır.

Bilindiği üzere yerinde uranyum ekstraksiyonu ile değerlendirilmesi planlanan rezerv yeraltında bulunmaktadır. Rezervin bulunduğu bu koşullardan dolayı belirli bir hidrostatik basınç yükü altında olduğu görülmektedir. Çözücü sisteminde kullanılan oksijen ve hidrojen peroksit gibi oksitleyiciler zamanla dekompozisyon ve çözünürlük azalması gibi nedenlerle gaz oluşumuna yol açabilmektedir.

Oluşan bu gazların ekstraksiyon ortamından ayrılmasında verime etki edebilmektedir. Diğer yandan çözücü olarak kullanılan asit veya alkalinin yapıda bazı parçalanmalara yol açabildiği bilinmektedir. Yapıda gerçekleşen bu parçalanmalarda ise bazı gazların oluşabildiği görülmektedir. Ekstraksiyon esnasında oluşabilecek bu gazlarda verime etki edebilmektedir. Sözü edilen bu nedenler yüzünden basınç etkisi incelenmesi gereken bir parametre olmaktadır. Etkinliği incelenecek basınç ise yaklaşık 100-120 metreler arası varolan 7-10 atmosferlik hidrostatik basınçtır.

Sıcaklık yerinde ekstraksiyonda önemli etkinliği olan bir parametre değildir. Asidik ekstraksiyonun ortam koşullarında yüksek verim verdiği bu çalışmada etkinliğinin incelenmesi gereksizdir. Ancak sıcaklık, alkali ekstraksiyonun genelde aside nazaran çok daha düşük verimi olması yüzünden göz önüne alınması gerekli bir faktördür. Yerinde ekstraksiyonda ise yer altının sıcaklık ve basınç koşulları kontrol altına alınamadığından, sıcaklığın etkisi pek önem kazanmamaktadır. Son yıllarda matematik modellemenin etkinliğinin artması, kontrol edilemeyen çeşitli faktörlerin bir arada bulunduğu koşullarda matematik modellerin önemli bir uygulama alanı bulmasına yol açmıştır. Yerinde ekstraksiyon yöntemine yönelik matematik model geliştirilirken hesaplanması gereken değerlerden biride çözünme kinetiği, özellikle reaksiyon hız sabitidir. Alkali ekstraksiyonda da hız sabitinin sıcaklığa bağımlılığının aside karşın çok daha fazla olduğu bilinmektedir. Bu nedenle özellikle alkali ekstraksiyonda reaksiyon mertebesi ve reaksiyon hız sabitinin tespiti için sıcaklık incelenmesi gereken bir parametre olmaktadır.

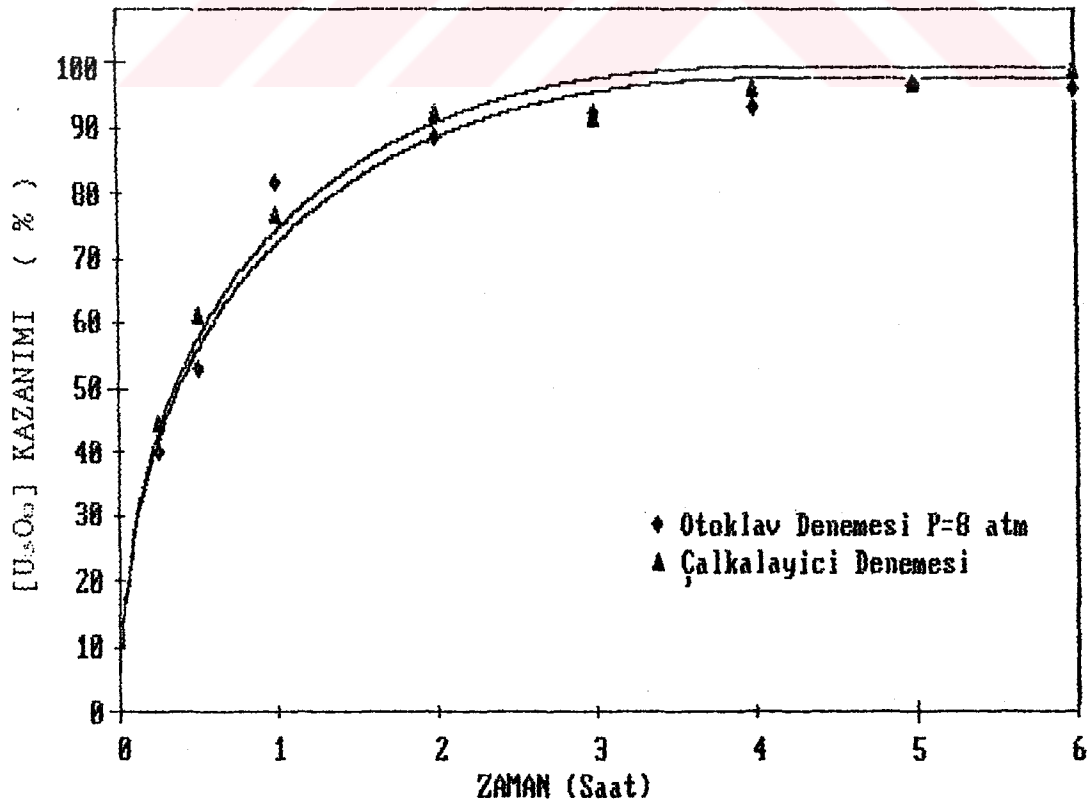
Yukarda belirtilen tüm bu nedenlerden dolayı, Yozgat-Sorgun-Temrezli uranyum rezervine yerinde ekstraksiyon yönteminin uygulanıp uygulanmayacağına karar verme amacıyla, gerçekleştirilen bu teknolojik çalışmalarda basınç ve sıcaklığın etkilerinin incelenmesine, özellikle alkali ekstraksiyon koşulları için reaksiyon hız sabiti ve

mertebesinin tespitine karar verilmiştir.

5.4.1. Asidik Sistemlere Basıncın Etkisi

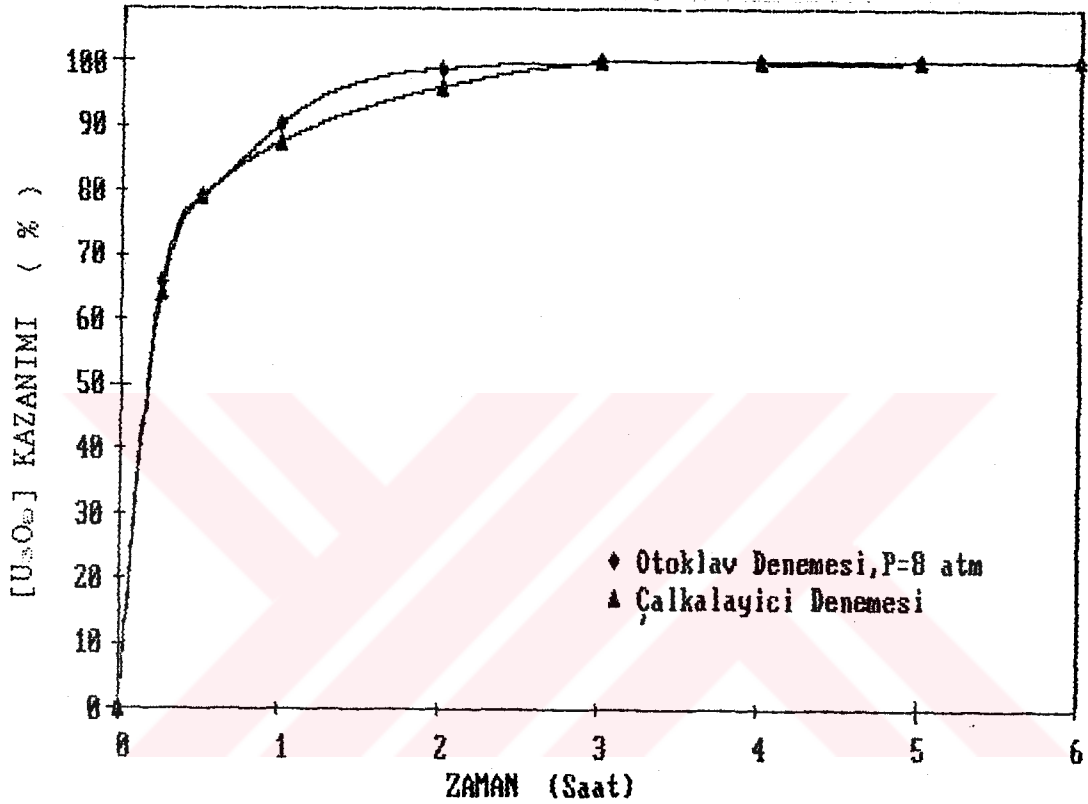
Bölüm 5.2.5 de belirtildiği gibi Yozgat-Sorgun-Uranyum rezervine en uygun asidik çözücü sistemleri olarak 0.1 M H_2SO_4 -0.3 g/l H_2O_2 ve % 0.8 lik Caro asidi seçilmiştir. Bu her iki sisteme basıncın etkisini belirlemek amacıyla 1 ve 8 atm mutlak basınç altında, 16 °C da otoklav denemeleri gerçekleştirilmiştir. Otoklav denemelerinde karıştırmanın etkisi göz önüne alınarak, çalkalayıcı denemelerine eşdeğer bir seviye olan 600 rpm'lik bir karıştırma hızında çalışılmıştır.

a. 0.1 M H_2SO_4 -0.3 g/l H_2O_2 Sistemi : Deney başlangıcında 0.95 lik bir değere sahip olan pH deney sonunda 1.31 e ulaşmış ve önemli bir değişiklik göstermediği görülmüştür. Asit tüketimi 6. saat sonunda 43.5 kg/ton cevher



Şekil 5.18. Sülfürik Asidik Sistemine Basıncın Etkisi

olarak hesaplanmıştır. Otoklav denemesinin sonuçları çalkalayıcı sonuçlarıyla birlikte Şekil 5.18 de gösterilmiştir. Sonuçlardan görüleceği üzere basıncın bu koşullarda ekstraksiyon verimi üzerinde kayda değer bir etkisi yoktur. Her iki denemeye paralel sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 5.19. Caro Asidi Sistemine Basıncın Etkisi.

b. Caro Asid Sistemi : 0.1 M H₂SO₄- 0.3 g/l H₂O₂ ekstraksiyon sistemine benzer olarak % 0.8'lik Caro asidi çözeltisiyle yine 1 ve 8 atm mutlak basınçta azot atmosferinde gerçekleştirilen otoklav denemelerinin sonuçları Şekil 5.19 da gösterilmiştir. Deney başlangıcında 1.08 olan pH'ların 6 saatlik deney süreleri sonunda 1.72'ye yükseldikleri gözlenmiştir. Ekstraksiyon sonuçlarında kayda değer bir farklılık görülmemektedir. Ekstraksiyon sonucu asit tüketiminin 70.31 kg/ton cevher olduğu hesaplanmıştır. Gerek otoklav gerekse çalkalayıcı ile gerçekleştirilen deneylerin sonuçlarının birbirleriyle uyumlu olduğu ve asit tüketimlerinin yakın çıktığı görülmüştür.

5.4.2. Alkali Sistemde Basıncın Etkisi

En uygun alkali ekstraksiyon çözücü sistemi olarak tespit edilen $0.085 \text{ M Na}_2\text{CO}_3 - 0.015 \text{ M NaHCO}_3 - 2 \text{ g/l H}_2\text{O}_2$ çözücüsü ile otoklavda 1, 8 ve 30 atm mutlak basınç koşullarında denemeler yapılmıştır. Denemelerde karıştırma hızı 600 rpm de tutulurken, sıcaklık 16°C olarak kaydedilmiştir. Tablo 5.8 da verilen deney sonuçlarının incelenmesi basınç artışının verime etkisi olmadığını göstermektedir. Elde edilen otoklav deney sonuçlarının çalkalayıcı deney sonuçları ile paralellik gösterdiği ve hızların bir birine denk geldiği görülmüştür.

5.4.3. Sıcaklığın Etkisi

Bölüm 5.4. te belirtildiği üzere yerinde uranyum yönteminde sıcaklık kontrol edilemeyen bir parametredir. Yeraltı koşullarında da sıcaklık genellikle düşük düzeydedir. Ancak son yıllarda gelişen modelleme çalışmalarında reaksiyon hız sabiti ve mertebesi bilinmesi gereken parametrelerdir. Ayrıca asidik sistemlerde verim yüksek olduğundan sıcaklığın etkisinin bilinmesi yerine sadece çalışma sıcaklığındaki değerinin bilinmesi yeterlidir. Diğer yandan alkali ekstraksiyon aside nazaran çok daha düşük verime sahiptir, dolayısıyla alkali ekstraksiyon koşullarında sıcaklığın hız ve mertebeye etkisi incelenmesi faydalı bir işlemdir. Reaksiyon hız sabit ve mertebesinin bilinmesinin bir diğer önemide yapılan çalışmaların literatürle karşılaştırmasına imkan sağlamasıdır. Özellikle düşük tenörlü cevherle çalışıldığından deneylerle belirlenen koşulların ne derece geçerli olduğunu tespit etmede de faydalıdır.

Yukarda bahsedilen nedenlerden dolayı en uygun alkali ekstraksiyon sistemi olarak tespit edilen $0.085 \text{ M Na}_2\text{CO}_3 - 0.015 \text{ M NaHCO}_3 - 2 \text{ g/l H}_2\text{O}_2$ liksiviantının reaksiyon hız

Tablo 5.8. N₂ Atmosferi Altında Basıncın Alkali Ekstraksiyona Etkisi (0.085 M Na₂CO₃-0.015 M NaHCO₃ 2 g/l H₂O₂ ve 16 °C)

ZAMAN (Saat)	[U ₂ O ₅] (%)		
	P = 1 atm	P = 8 atm	P = 30 atm
0.25	15.11	18.12	9.70
0.50	21.05	21.13	18.27
1.00	30.23	27.97	32.11
2.00	42.56	37.14	45.79
3.00	47.37	48.05	46.62
4.00	49.77	48.88	48.57
5.00	50.83	49.92	49.25
6.00	51.88	52.63	53.53

sabit ve mertebesinin tespiti ve sıcaklığın etkisi araştırılmıştır. 15-70 °C arasında uygulanan birer dizi deneme ile sıcaklığın oksitli ve oksitsiz ortamdaki ekstraksiyona etkisi incelenmiştir. 70 °C'ın üstünde suyun buhar basıncının yüksek olmasından dolayı atmosferik koşullarda deneme yapılması gereksiz bulunmuştur. Bu sıcaklığın üzerinde verim bir miktar daha artabilsede, oksitleyicininde dekompozisyonu artacağından ancak aynı zamanda basıncında artırılmasıyla anlamlı bir sonuca ulaşılabilir.

a. Oksitsiz Ortamda Sıcaklık Etkisi : Yozgat- Sorgun-Temrezli uranyum rezervi için uygun çözücü olarak seçilen 0.085 M Na₂CO₃ 0.015 M NaHCO₃ alkali karışımına oksitleyici eklenmeden bir dizi deneme yapılmıştır. 600 rpm karıştırma hızında, azot atmosferinde yapılan oksitsiz denemeler 15, 30, 50 ve 70 °C sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.20 de verilen ekstraksiyon sonuçlarının incelenmesi sonucu sıcaklık artışının verimi arttırdığı görülmüştür.

b. Oksitli Ortamda Sıcaklık Etkisi : 0.085 M Na₂CO₃ 0.015 M NaHCO₃ kullanımıyla oksitleyici kullanmadan yapılan çalışmaların dışında gerçekleştirilen bir dizi

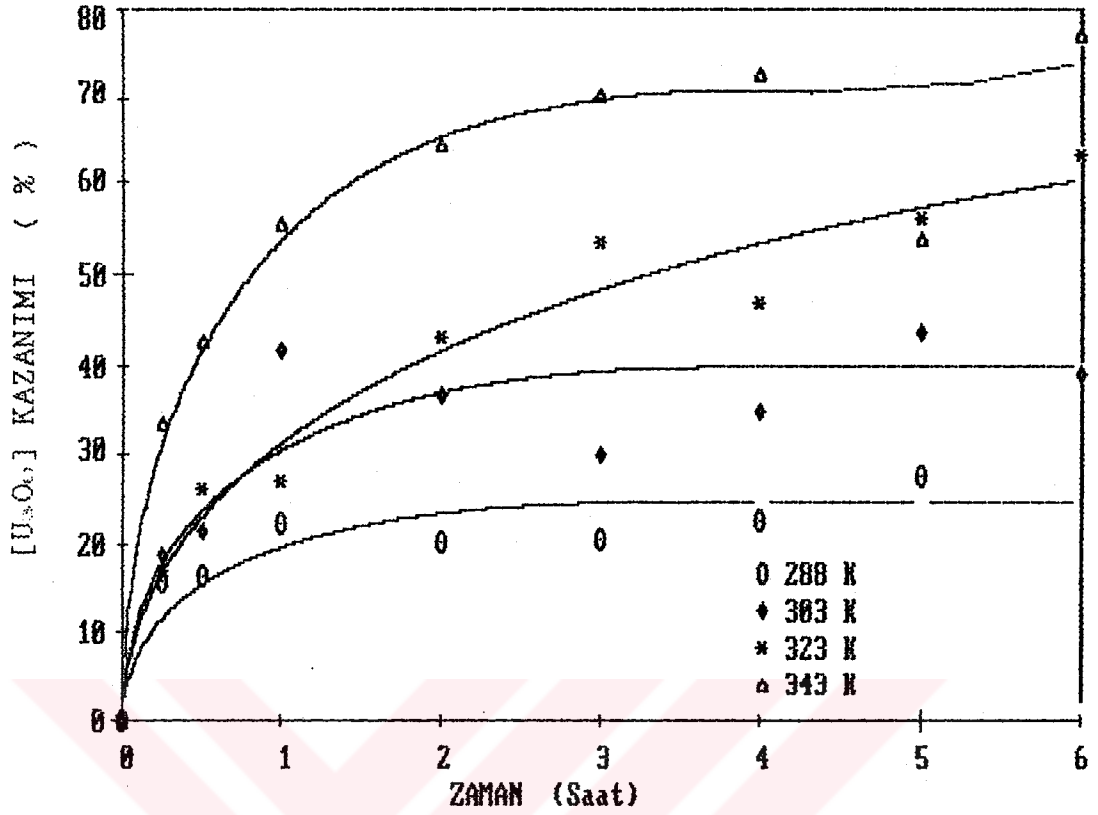
çalışmada oksitli olarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda optimum oksitleyici konsantrasyonu olarak seçilen 2 g/l H_2O_2 kullanılmıştır. 600 rpm karıştırma hızında ve 1 atm mutlak basınç altındaki azot atmosferi koşullarında 5 ayrı sıcaklıkta denemeler yapılmıştır. 20, 40, 50, 60 ve 70 ° C da gerçekleştirilen denemelere ait sonuçlar Tablo 5.9 da verilmektedir.

Tablonun incelenmesi sonucu oksitleyici ortamında sıcaklık artışının verimi arttırdığı görülmektedir. Ancak 50 °C'ın üstünde artış daha düşük sıcaklıklara nazaran daha yavaş olmuştur. 70 °C sıcaklıkta 30. dakikadan 2. saata kadar bir düşüş ve daha sonra artış gözlenmiştir. Bu sonuçlar Eligwe ve arkadaşlarının [28] bulgularıyla uyduğundan, verimde görülen bu değişikliğin 50 °C'ın üstünde H_2O_2 dekompozisyonunun yüksek olmasından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

5.4.4. Sıcaklık Sonuçlarının Kinetik Değerlendirilmesi

Bölüm 5.4.1 de de belirtildiği gibi sıcaklığın ekstraksiyona etkisi yerinde değerlendirmede bilinmesi gereken bir faktör değildir. Ancak verimin asitten düşük olduğu alkali ekstraksiyonda özellikle modelleme aşamalarına geçerken reaksiyon hız sabiti ve mertebesinin bilinmesi faydalıdır. Ayrıca denemelerde elde edilen sonuçların evrensel olarak anlamlı olup olmadığının da anlaşılabilmesi için literatürle karşılaştırılmaları gereklidir. Salt verim artışlarının mevcudiyetinin gözlemlenmesi ekstraksiyon çalışmasının çok iyi yapıldığı anlamına gelmemektedir. En iyi karşılaştırma reaksiyon aktivasyon enerjilerinin ve mertebelerinin değerlendirilmesidir. Bu amaçla gerçekleştirilen ekstraksiyon sonuçlarının kinetik incelemelerinin yapılması faydalı görülmüştür.

0.085 M Na_2CO_3 0.015 M $NaHCO_3$ kullanılarak 0 ve 2 g/l H_2O_2 oksidan konsantrasyonlarında gerçekleştirilen 2 dizi

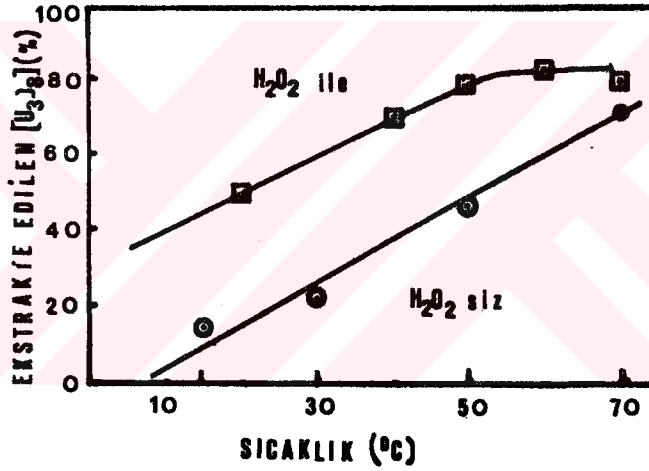


Şekil 5.20. Oksitsiz Ortamda Sıcaklığın Alkali Ekstraksiyona Etkisi.

Tablo 5.9. Oksitli Ortamda Alkali Ekstraksiyona Sıcaklığın Etkisi (0.085 M Na_2CO_3 0.015 M $NaHCO_3$, 2 g/l H_2O_2 , P = 1 atm ve Karıştırma Hızı 600 rpm)

ZAMAN (Saat)	$[U_3O_8]$ (%)				
	20 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C
0.25	19.11	20.00	48.12	60.90	61.54
0.50	21.05	43.46	64.44	68.87	79.77
1.00	30.22	60.38	65.64	79.25	69.36
2.00	42.56	71.13	70.75	79.70	64.64
3.00	47.37	70.53	75.50	82.03	71.77
4.00	49.77	71.13	79.25	83.00	78.15
5.00	50.83	72.18	79.25	-	-
6.00	51.88	74.51	81.05	-	84.17

deneme sonuçları Şekil 5.21 de sabit zamanda karşılaştırılmıştır. Sıcaklığın oksitleyici varlığında veya yokluğunda ekstraksiyona etkileri 4. saat değerleri ile karşılaştırıldığında, H_2O_2 in şekilden de görüleceği üzere düşük sıcaklıklarda çok daha etkili olduğu anlaşılmaktadır. Sıcaklık artışı H_2O_2 in etkinliğini azaltmakta 50 °C'ın üstünde ise önemli bir etkisinin varlığından söz edilememektedir. Literatürden de görüleceği üzere bu H_2O_2 nin sıcaklık artışı ile termal ve katalitik parçalanması yüzünden olmaktadır [28]. 70 °C da elde edilen maksimum verimler, H_2O_2 kullanımında % 84.2, H_2O_2 kullanılmadığında ise % 77.3 olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.21. Uranyum Ekstraksiyonuna Oksitli ve Oksitsiz Ortamda Sıcaklığın Etkisi.

Gerçekleştirilen bu kinetik amaçlı çalışmalardan gerek modelleme çalışmalarına geçebilmek, gerekse literatürle karşılaştırılmasını yapabilmek için reaksiyon aktivasyon enerjileri ve mertebeler çeşitli yollarla tespit edilebilmektedir. Bu çalışmalarda elde edilen verilerin kinetik değerlendirilmesi literatürle uygun olarak iki farklı metodla yapılmıştır. Uranyumun çözünme kinetiği üzerine yapılan çalışmalarda Bölüm 2.1 de anlatıldığı gibi çeşitli araştırmacılar çözünme hızının yüzey alanıyla doğru orantılı olduğunu ifade etmişlerdir. Yüzey alanı bilinen UO_2 ve U_3O_8 peletleri ile yapılan denemelerde bu

sonuçları doğrulamıştır [11,12,14,17]. Du Preez ve arkadaşları [12] 1981 yılında yayınladıkları bir çalışmada da yüzey alanının ölçülmesinin güç olduğu durumda, yüzey alanı bilinmeyen UO_2 ile çalışmışlardır. UO_2 parçacıklarının küresel olduğu teorisinden yaklaşılarak UO_2 çözünme reaksiyonunun yüzeyden çözünme şeklinde olduğunu göstermişlerdir.

Yozgat-Sorgun-Temrezli cevherinin de yüzey alanı bilinmemektedir. Kinetik değerlendirmede Du Preez'in önerdiği yoldan hareket edilerek aktivasyon enerjisinin bulunmasına çalışılmıştır. Benzer düşünüşle uranyum parçacıklarının küresel olduğu kabul edilerek, küre yüzeyindeki reaksiyon hızı aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$dn/dt = -4 \pi r^2 k / s \quad (5.7)$$

burada n molekül sayısı; r küre yarı çapı; s reaksiyona giren her hangi bir molekülün kesit alanı; k ise var olan yanal yüzey fraksiyonlarını, yüzey konsantrasyonu dışındaki konsantrasyon terimlerini ve özgül hız sabitini içeren sabit olup 1/s boyutundadır.

Küre içindeki toplam molekül sayısı

$$n = 4 \pi r^3 / 3v \quad (5.8)$$

dir, buradaki v bir molekülün hacmini göstermektedir. Küre yarı çapına karşı n'nin türevi alınıp (5.7) nolu denkleme yerleştirilirse

$$dr/dt = - v k / s \quad (5.9)$$

ele geçer. Reaksiyona giren uranyumun fraksiyonu x, kürenin başlangıç yarı çapı r_0 olarak tanımlanırsa

$$x = 1 - (r^3 / r_0^3) \quad (5.10)$$

elde edilir. (5.10) eşitliğinin zamana karşı türevi

$$dx/dt = (-3 r^2 / r_0^3)*(dr/dt) \quad (5.11)$$

olur. (5.11), (5.9) ve (5.10) nolu denklemlerin birleştirilmesi ile

$$dx/dt = 3 v (1 - x)^{2/3} k/r.s \quad (5.12)$$

ele geçer. $t=0$ da $x=0$ başlangıç koşulu ile (5.12) integre edilirse

$$[1 - (1 - x)^{1/3}] = k_0' t \quad (5.13)$$

denklemini ele geçer, burada

$$k_0' = v k / r_0 s \quad (5.14)$$

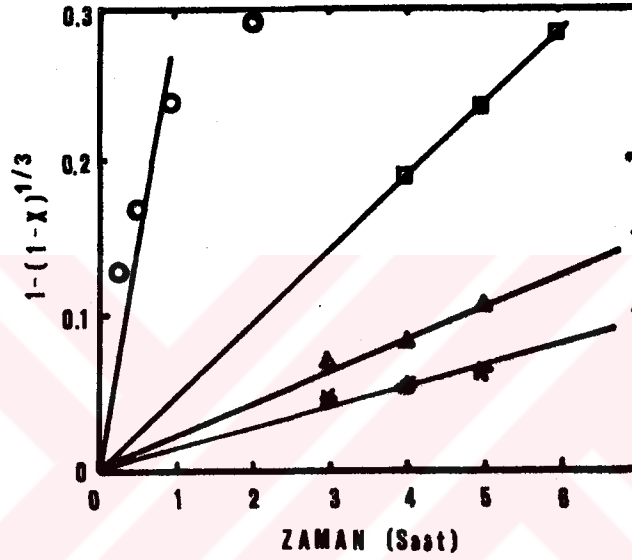
şeklinde tanımlanmıştır. (5.13) nolu denklem $Y = a*X$ türünde bir lineer denklem takımı olup eğimi k_0' a eşittir.

Oksitsiz ekstraksiyon sonuçları 16-70 °C sıcaklık aralığında $[1 - (1 - x)^{1/3}]$ şeklinde düzenlenerek zamana karşı grafiğe geçirilmiştir. Şekil 5.22 den görüleceği üzere uranyum mol fraksiyonu 0.1 ile 0.6 arasında lineer uyumluluk gözlenmektedir. Ancak 70 °C daki değerlerde lineerlikten önemli bir sapma görülmektedir.

Bilindiği üzere, Arrhenious eşitliği $k_0 = A \exp(-\Delta E/RT)$ şeklindedir. Yukarıda (5.14) nolu denklemde tanımlanan k_0' sabiti sıcaklıktan bağımsız olan v , r_0 ve s ve sıcaklığa bağlı olan k nın fonksiyonudur. Dolayısıyla $1/T$ ye karşı $\ln(k_0')$ ların grafiği doğrusal olmalıdır. Bu doğrunun eğimi $\Delta E/R$ e karşılık gelmektedir. Şekil 5.23 $1/T$ ye karşılık $\ln(k_0')$ nün grafiğini vermektedir.

Ele geçen doğrunun eğiminden, gaz sabiti $R= 8.314$ J/K olarak alınarak aktivasyon enerjisi 27.4 kJ/mol olarak bulunmuştur. Bu değer Du Preez ve arkadaşlarının [28] UO_2 ile, Peters ve Helpert'nin [14] U_3O_8 ile buldukları 51.5 kJ/mol lük değerden küçüktür. Ancak Pearson ve Wadsworth

[19] tarafından absorpsiyonla bağıntılı olarak hesaplanan 43.5 kJ/mol lük kompozit aktivasyon enerjisi değerine daha yakındır. Elde edilen aktivasyon enerjisinin literatürde bulunan saf UO_2 ve U_3O_8 ile elde edilen değerlerden düşük çıkması kullanılan cevherin tenörünün düşük olmasına bağlanabilir. Aynı zamanda bu çalışmada reaksiyon hızına oldukça etkili olan oksitleyici kullanılmaması da bu yönde bir etken olabilir.



Şekil 5.22. * 15, Δ 30, ■ 50, o 70 °C Sıcaklıklarında $[1-(1-x)^{1/3}]$ ün Zamanla Değişimi.

Yukarıda sözü edilen çalışma ile aktivasyon katsayısı tespitinde kullanılan yöntem doğrusal değerler elde etmede faydalı olmuştur. Özellikle doğrusal değerlerin eldesi başlangıçta kabul edilen uranyumun çözünme hızının yüzey alanı ile bağlantılı olduğu yargısını doğrulamıştır. Ancak uygulanan yöntemin, bir takım kabullere bağlı olması yüzünden de elde edilen değerlerde bazı hatalar oluşabilir. Bu noktadan hareketle de daha anlamlı bazı sonuçlara ulaşmak için modifiye edilmiş van't Hoff metodundan faydalanılmıştır. (5.3) nolu denklemde tanımlanan reaksiyon hız denkleminde hız sabiti k tespit edilmiştir. Şekil 5.24 ve Şekil 5.25 sırasıyla oksitsiz ortamda ve 2 g/l H_2O_2 kullanılan koşullarda sıcaklığın değişimi ile hızın değişimini göstermektedir. (5.3) denkleminde reaksiyon hız

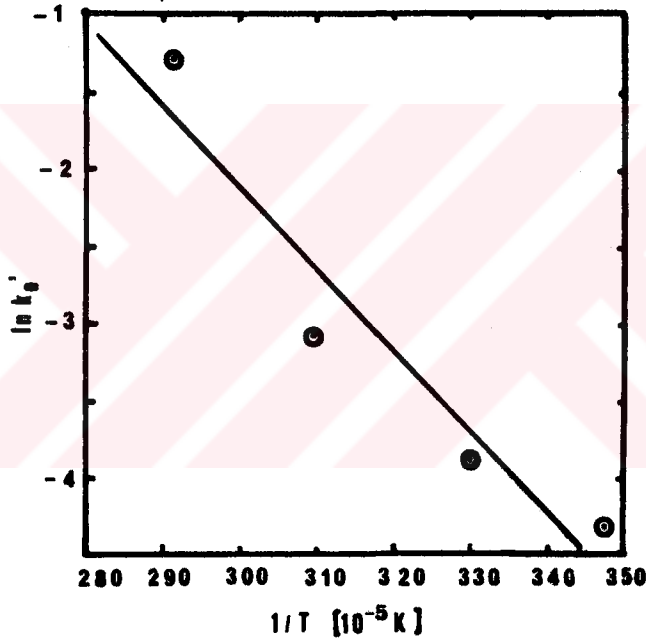
sabiti yerine Arrhenius eşitliği yazılırsa

$$V = A \exp(-\Delta E/RT) C^n \quad (5.15)$$

ele geçer, bu denklemin her iki tarafının logaritması alınır

$$\log V = \log A C^n - 2.3026 * (\Delta E/R) * (1/T) \quad (5.16)$$

denklemini ele geçer ve bu $Y = a + b * X$ şeklinde bir ifade olup eğimi $(2.3026 * (\Delta E/R))$ e karşılık gelmektedir.



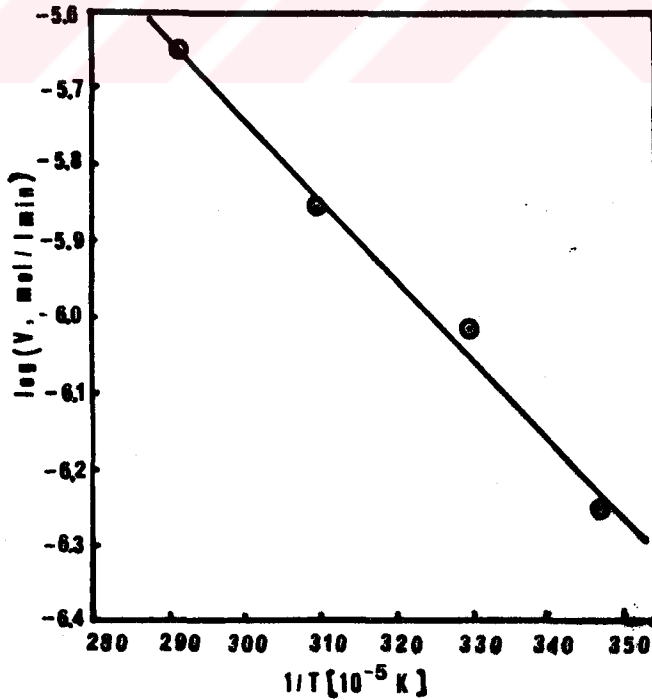
Şekil 5.23 $\ln(k')$ 'in Mutlak Sıcaklığın Tersi ile Değişimi.

Şekil 5.24 ve Şekil 5.25 in regresyon analiziyle değerlendirilmesi sonucunda oksitsiz ortam koşullarında aktivasyon enerjisi 21.3 kJ/mol olarak bulunmuştur. Bölüm 5.4.3 de belirtildiği gibi hızın sıcaklığın tersi ile değişimi grafiği oksitleyicili ortamda H_2O_2 için iki farklı aktivasyon enerjisi göstermektedir. 20-50 °C arasında aktivasyon enerjisi 29.06 kJ/mol, 50-70 °C arasında ise 9.8 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Oksitli ortamda akti-

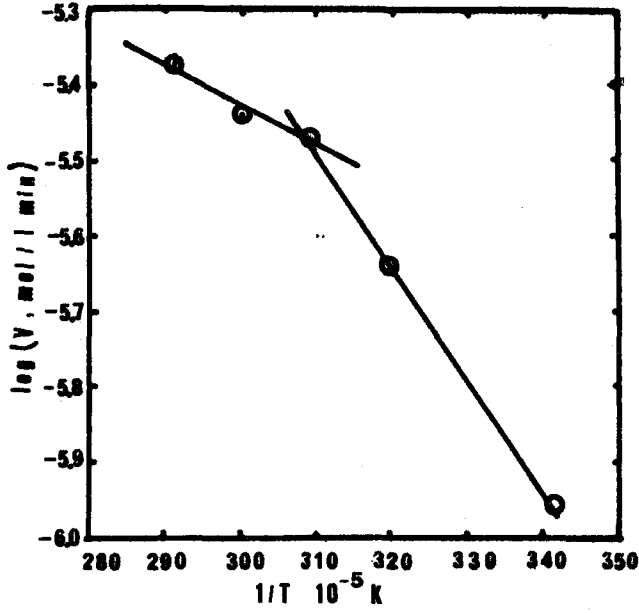
vasyon enerjisinin bu denli değişimi Eligwe ve arkadaşlarının [28] bulgularıyla da doğrulandığı gibi hidrojen peroksitin sıcaklıkla katalitik dekompozisyonundan kaynaklanabilir.

Oksitsiz ortamda aktivasyon enerjisinin teorik yaklaşımla geliştirilen denklemden ve doğrudan deneysel sonuçlarının modifiye edilmiş van't Hoff metoduyla değerlendirilmesinden elde edilen değerlerinde biraz fark vardır. Ancak birinci yollabulunan 27.4 kJ/mol'lük değerle ikinci yolla bulunan 21.3 kJ/mol'luk değer arasındaki fark ilk yöntemdeki yaklaşımlardan kaynaklanabilir.

Elde edilen aktivasyon enerjilerinin gerek oksitsiz gerekse oksitli ortamda literatürdeki saf UO_2 ve U_3O_8 kullanımıyla elde edilen değerlerden düşük çıkmasının başlıca nedeni düşük tenörlü cevherle çalışmadır. Ancak bölüm 2.2.4 ten de görüleceği üzere düşük tenörlü başka cevherlerle elde edilen değerlerden yüksektir. Örneğin



Şekil 5.24. Oksitsiz Ortamda 0.085 M Na_2CO_3 ve 0.015 M $NaHCO_3$ Kullanımıyla Elde Edilen Arhenius Doğrusu



Şekil 5.25. Oksitli Ortamda 0.085 M Na_2CO_3 ve 0.015 M NaHCO_3 ve 2 g/l H_2O_2 kullanarak elde edilen Arhenius Doğruları

Mattus ve Torma [26] 16.2 kJ/mol, Eligwe ve arkadaşları [28] oksitsiz ortamda 13.96 kJ/mol, oksitli ortamda 50 °C altı için 11.08 kJ/mol, üstü için 3.85 kJ/mol bulmuşlardır. Bu çalışmada gerek oksitsiz gerekse oksitli ortamda bulunan aktivasyon enerjileri sözü edilen çalışmalarda ele geçen değerlerden oldukça yüksektir. Elde edilen bu değerler Yozgat-Sorgun-Temrezli cevherinin alkali sistemi ile literatürde belirtilen düşük tenörlü cevherlerden çok daha kolay ekstrakte edilebileceğini göstermektedir [26,28].

5.5. KOLON DENEMELERİ

Yozgat-Sorgun-Temrezli bölgesi uranyum rezervine yerinde ekstraksiyon yönteminin uygulanabilirliğinin araştırmasında birinci kademe uygun liksiviantların tespiti ve ekstraksiyon verimlerin bulunabilmesidir. Bu amaca yönelik olarak çalkalayıcı ve otoklav denemeleri önceki kısımlarda

anlatıldığı gibi sürdürülmüştü. Çalkalayıcı ve otoklav denemeleri klasik yöntemlere karar vermek için yeterlidir. Ancak yerinde ekstraksiyon yönteminin uygulanması esnasında, kesikli ve karıştırmalı proseslerdeki şartlardan farklı durumlar söz konusudur. Kesikli ve karıştırmalı denemelerden elde edilen sonuçların arazi şartlarına yaklaşım gösteren denemelerle onaylanması gerekmektedir. Çalkalayıcı ve otoklav denemelerinin arazi şartlarına uymayan başlıca noktaları :

- Cevherin ve Çözeltinin Sürekli Hareketi,
- Cevherin daha baştan yaklaşık 10 misli çözelti ile karşılaşmasıdır.

Gerçek arazi uygulamasında Şekil 3.3 de görüldüğü üzere, belirli bir basınçla cevher yatağına basılan çözelti katı partiküller arasındaki poröz ortamdan geçmekte, bu esnada çeşitli mineralleride çözerek üretim kuyusunda bulunan düşük basınç yoluyla dışarı çekilmektedir. Yani akış besleme ve üretim kuyuları arasındaki basınç farkıyla gerçekleşmektedir. Çeşitli araştırmacılar değişik kuyu alanlarında oluşan bu çözelti akışını modelleme yoluna gitmiştir[73,74,75,79,81]. Arazi uygulamalarından elde edilen sonuçlarında kullanılmasıyla modellerin uyumluluğu incelenmiştir. Araziden elde edilen deney sonuçlarının kolon ekstraksiyonu denemelerine ait sonuçlarla karşılaştırılması da bu tür denemelerin arazi uygulamalarında elde edilenlere en yakın değerleri verdiğini göstermiştir.

Nigbor ve arkadaşları [67] 3 cm civarında çapa sahip kolonlarla elde edilen sonuçların arazi sonuçları ile uyumluluğunu göstermiştir. Çeşitli araştırmacılar da benzer yargıya vararak 3 cm civarında çapa sahip kolonların yerinde ekstraksiyon yönteminin laboratuvar çaplı incelemesinde en uygun kolon çapı olduğunu belirtmişlerdir [63,72,94]. Bu bilgilerin ışığında tasarımı yapılan ve özellikleri bölüm 4.1.3. de tanıtılan kolon kullanılarak çeşitli denemeler gerçekleştirilmiştir.

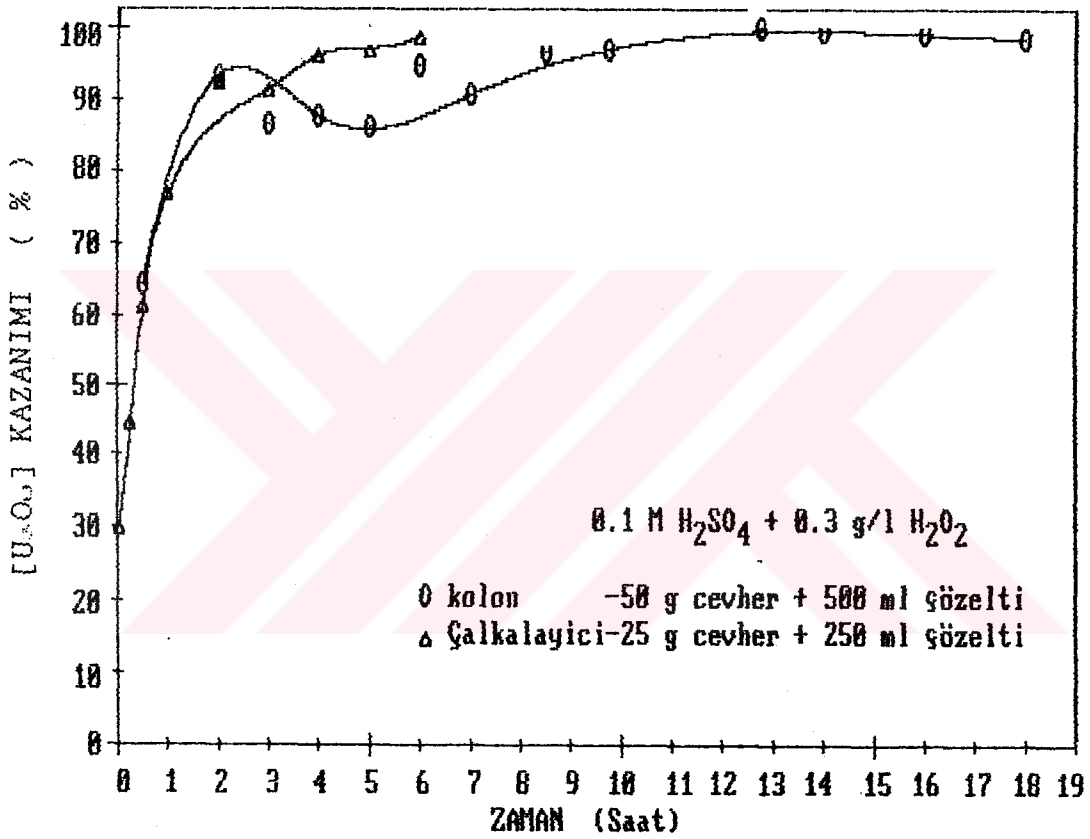
Şekil 4.5 de görülen kolon ekstraksiyon düzenegi ile ilk yapılan denemelerde akışı sağlayacak basınç farkı

eleğin altında oluşturulan vakum ile elde edilmiştir. Ancak MTA teknolojik dairesince 40 mesh'in altına öğütülmüş olan numune yeterli akışı sağlamada zorluk yaratmıştır. Kolona tekrar harmanlandıktan sonra doldurulan cevherde porozitenin % 40'ın altında kaldığı ve 720 mm Hg'lik bir basınç farkına rağmen geçişin çok az olduğu ve mevcut basınç düşüşünün vakumla sağlanmasından dolayı geçen çözeltinin tümünün buharlaştığı görülmüştür. Diğer kumtaşı yapısındaki uranyum cevherleriyle gerçekleştirilen ön testlerde, akış ve basınç düşüşünün cevherin elek aralığına bağlı olduğu görülmüştür. Cevherin elek aralığının inert kuartz kullanılarak değiştirilmesi yoluna gidilmiştir. 0.4-0.7 mm elek aralığındaki kuartzın bire bir kullanılması koşullarında optimum çözelti geçişi sağlanmıştır. 20 °C sıcaklıkta cevher ve kuartzın mutlak yoğunlukları sırasıyla 2.58 ve 2.597 g/cm³ olarak ölçülmüştür. % 42.7'lik poröz ortamda karşılaştırma denemeleri yapılmıştır.

5.5.1. Asit Sistemin Karşılaştırılması

Gerek çalkalayıcı gerekse otoklav denemeleri 0.1 M H₂SO₄ ve 0.3 g/l H₂O₂ ile %8'lik Caro asidi sistemlerinin en uygun asidik sistemler olduğunu göstermişti. Bu iki sistemden Caro asidi sisteminin ek bir takım maliyetler getirdiği açıklanmıştı. Gelişimi Caro asidine nazaran biraz yavaş olsada, aynı verimi sağlayan H₂SO₄-H₂O₂ sisteminin optimum sistem olarak kabul edilebileceği açıklanmıştı. Dolayısıyla asidik sistemin karşılaştırılması için bu denemelerde 0.1 M H₂SO₄- 0.3 g/l H₂O₂ kullanılmıştır. Kolonda ele geçen ilk çözelti nispeten bulanık olmuştur. Ancak ilk saati takiben alınan çözelti çok berraklaşmıştır. Bulanıklık nedeniyle ilk alınan numunelerin filtrelenerek analizi gerekli görülmüştür, berraklaşmayı takiben bu işlem den vazgeçilmiştir. İlk 500 ml 1 saat içinde geçmiş ancak çözeltinin geri dönüşü neticesinde geçiş süresi 2 saate çıkmış, ilerki saatlerde ise başlangıçta karşılaşılan bu geçirgenlik kaybı düzelerek 500 ml çözelti

geçiş i yine 1 saat civarına inmiştir. Kolon ve çalkalayıcı deneme sonuçlarının karşılaştırılması asidik sistem sonuçlarının verim için uyumluluğunu göstermiştir. Şekil 5.26 her iki sistemin sonuçlarının karşılaştırılmasını vermektedir. Kolon denemesinde 2. saatten sonra geçici bir çökme olmuşsa da 5. saatten sonra tekrar çözünme kararlı bir hal almış ve sonuçta % 100 varan bir verime ulaşılmıştır.

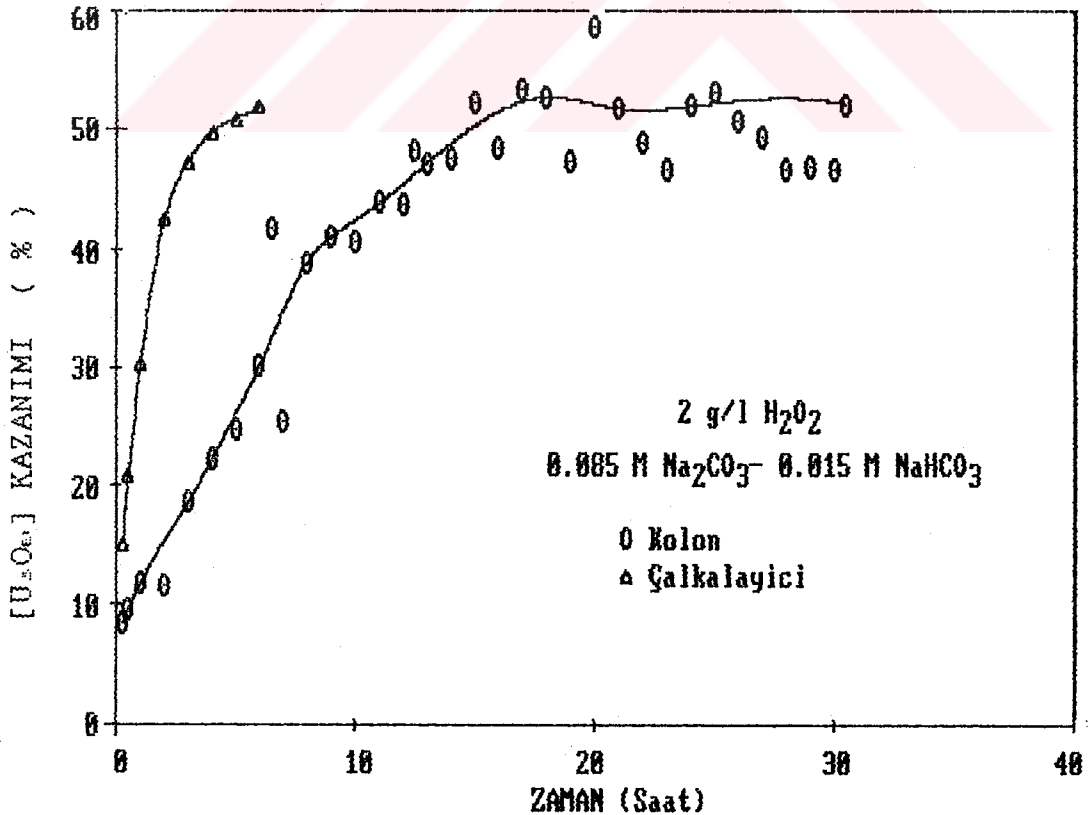


Şekil 5.26. Çalkalayıcı ve Kolon Denemelerinin Karşılaştırılması (H_2SO_4 - H_2O_2 Sistemi).

5.5.2. Alkali Sistemin Karşılaştırılması

Alkali ekstraksiyon denemeleri 0.085 M Na_2CO_3 0.015 M $NaHCO_3$ ve 2 g/l H_2O_2 içeren çözelti sisteminin en uygun alkali liksiviant olduğunu gösterdiği önceki bölümlerde anlatılmıştı. Bu yüzden kolon denemelerinde yine %50 kuartz içeren 100 g numune ile ekstraksiyon çalışması

yapılmıştır. Asidik sistemde olduğu gibi alınan ilk numuneler bulanık olmuş, ancak bulanıklığın zamanla nispeten azaldığı gözlenmiştir. Bu bulanıklığın cevher içindeki çok ince partiküller ile yapıda meydana gelen ve çalkalayıcı denemelerinde de gözlenen parçalanmadan kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Bu ilk ele geçen numunede bir takım sürüklenmiş partiküllerin çökmesiyle ve akışın zorlaşmasıyla görülmektedir. Başta yüksek olan geçiş hızı zamanla azalma eğilimine girmiş, çözeltinin % 30 luk kısmı 1 saatte transfer olurken toplamı ancak 6.5 saatte transfer edilebilmiştir. Birinci geri beslemeden itibaren geçiş hızının sabitleştiği görülmüştür. Bulanıklık nedeniyle çözeltilerden alınan numuneler filtre edilmiştir. Alkali kolon denemesiyle ilgili deney sonuçları, çalkalayıcı ile birlikte Şekil 5.27 de karşılaştırılmaktadır. Ekstraksiyon verimi sonuç olarak, her iki denemede de aynı değere ulaşmıştır. Ancak çalkalayıcıda 6. saatte ele geçen verime kolonda 15. saatte ulaşılmıştır. Bu andan itibaren ekstraksiyon verimi sabitleştikten denemeye 30. saat



Şekil 5.27. Çalkalayıcı ve Kolon Denemelerinin Karşılaştırılması (Na_2CO_3 - $NaHCO_3$ - H_2O_2).

sonunda son verilmiştir. Yapılan ölçümlerde pH'nın deney süresince kararlılığını koruduğu görülmüştür.

Gerek asidik gerekse alkali sistemlerin sonuçlarının karşılaştırılması kolon ekstraksiyon denemelerinin sonucu ele geçen verimlerin çalkalayıcılardan ele geçenlerle uyumlu olduğunu göstermektedir. Kolonda ekstraksiyon süzdürme yoluyla sağlanırken, çalkalayıcı ve otoklavda karıştırmanın mevcudiyeti gelişmede görülen farkı yaratmaktadır. Karıştırmanın etkisi olan Edi olaylarının azalması sonucu çalkalayıcıda 6. saatte ulaşılan verime kolon ekstraksiyonunda 15-16. saatlerde ulaşılmıştır. Ancak geçişi sağlamak maksadıyla gerekli basınç düşüşünün vakumla sağlanması, önemli buharlaşmalara yol açmaktadır. Bu yüzden denemelerin sağlıklı bir yöne kaydırılması için, gerek duyulan basınç farkının vakum yerine üstten basınç uygulama yoluyla sağlanması uygun bulunmuştur. Düzenekte Şekil 4.5 de görülen düzenleme yapılmıştır.

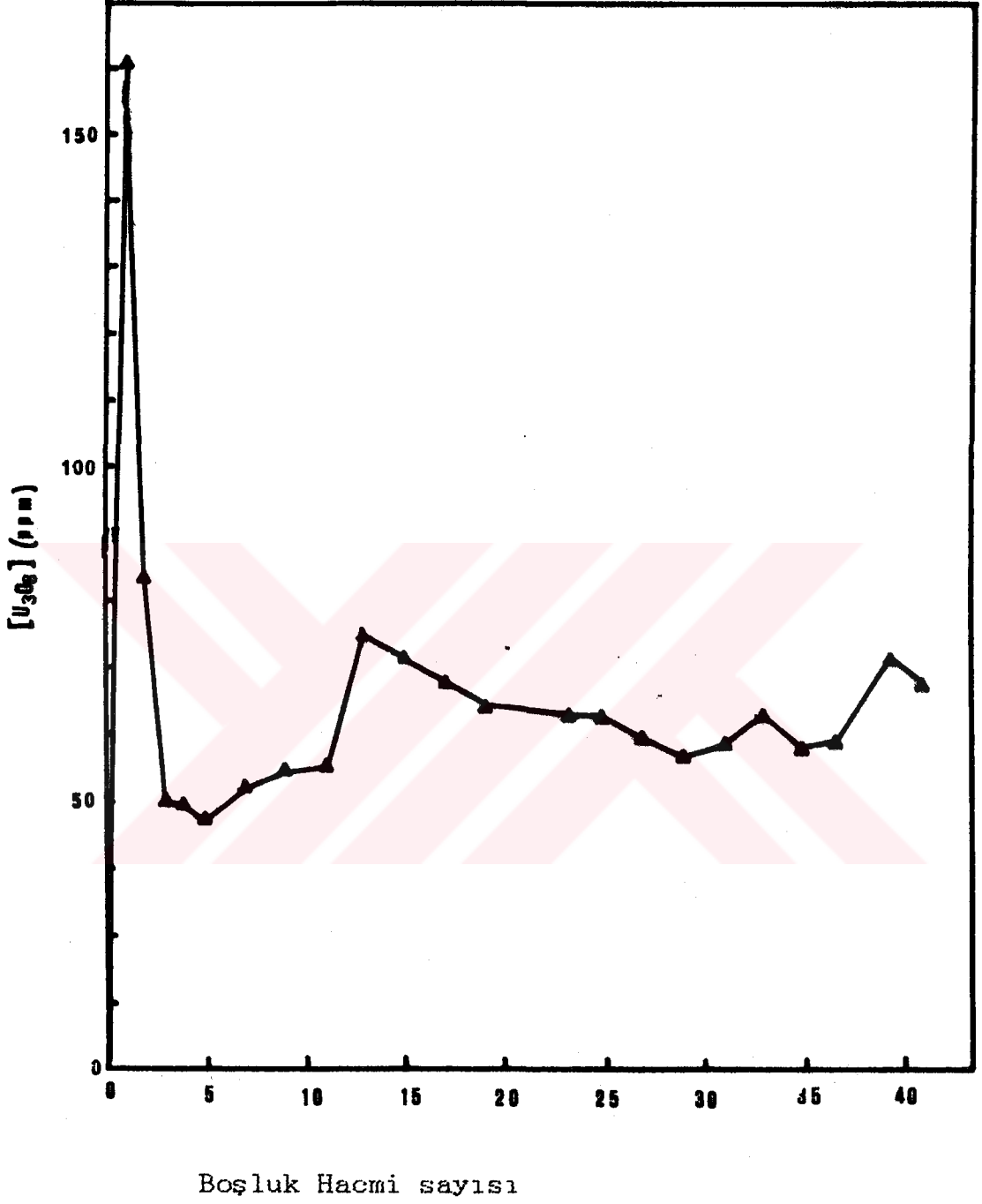
5.5.3. Asidik Sistemde Porozitenin Verime Etkisi

Yukarıki bölümde söz edilen değişiklik gerçekleştirildikten sonra yapılan ön denemelerde üstten basınç uygulamasında akışın daha düzenli olduğu ve vakumlu sisteme nazaran ekstraksiyonun daha başarılı şekilde geliştiği gözlenmiştir. Kolon ekstraksiyonları neticelerinin arazi sonuçlarının tahmininde daha anlamlı olabilmesi için ekstraksiyon yürüyüşü boşluk hacmine (Pore Volume) göre takip edilmektedir. Boşluk hacmi belli bir yığın yoğunluğuna sahip belli bir miktar cevherin içinde bulunan gözenekli alanın hacmi olarak tanımlanır ve belli cevher kütlesi sadece içerdigi boşluk hacmini kaplayan çözelti miktarı ile temastadır. Her bir boşluk hacmi transfer edilince içerdigi U_3O_8 miktarı analiz edilerek ekstraksiyonların yürüyüşü izlenebilir. Boşluk hacmine göre çözelti konsantrasyonu grafiği gerçek arazi uygulamalarında elde edilen sonuçlara uyumluk göstermektedir, ancak çözeltinin süpüreceği hacim ^{T.C.} artacağından çözelti derişimleri

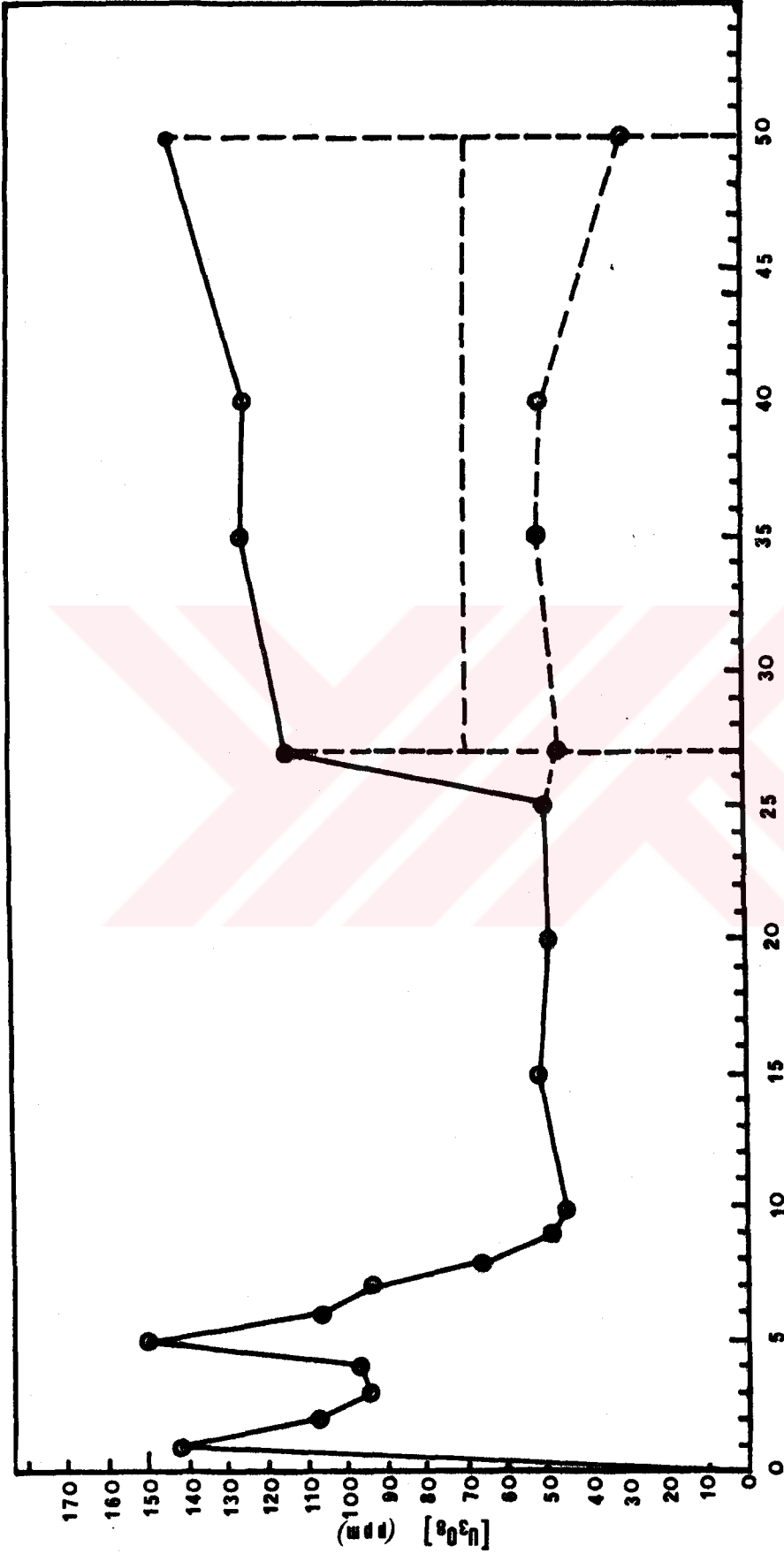
artabilir. Ekstraksiyonun süzdürme yoluyla gelişimini gözlemek için iki ayrı deneme yapılmıştır. Birinci deneyde % 50 kuartztan faydalanılmış iken ikincide cevher dolgu maddesiz denenmiştir.

% 50 Kuartz'lı Asidik Kolon Ekstraksiyonu : % 50 oranında kuartz kullanarak yapılan deneme 16 saat sürdürülmüştür. 0.1 M H_2SO_4 - 0.3 g/l H_2O_2 kullanımı ile yapılan deneme 1 atm'lik basınç farkı ile gerçekleştirilmiştir. Ortalama saatte 4.4 boşluk hacmi miktarında çözelti transferi gerçekleştirilmiştir. Ekstraksiyon boyunca pH ve P de kayda değer bir değişiklik gözlenmemiştir. Deney başlangıcında ele geçen çözeltide hafif bir bulanıklık olmasına karşın, kısa süre sonunda çözelti berraklaşmıştır. Şekil 5.28 ekstraksiyon boyunca ele geçen her bir boşluk hacmi içindeki çözelti derişimlerini göstermektedir. Ana çözelti 2 kez geri çevrime ugratılmış ve her seferinde çözelti derişiminin yeni çözünen uranyum nedeniyle yükseldiği görülmüştür.

Dolgu Maddesiz Asidik Ekstraksiyon : Çözelti akışını sağlayan basınç farkının üstten sağlanmasının ekstraksiyon yürüyüşüne olumlu etki yaptığı görüldüğünden, geçişi kolaylaştırmak ve porozitenin artırılması için faydalanılan kuartzın kullanılmamasının etkisi incelenmeye çalışılmıştır. Ortalama saatte 3 boşluk hacmi miktarında sağlanan geçiş hızı ekstraksiyon süresince sabit tutulmaya çalışılmıştır. Basınç farkı hızı korumak maksadıyla ilk 20 boşluk hacmi boyunca 0.2, 42. boşluk hacmine dek 0.4 ve 70. boşluk hacmine kadar 0.6 atm değerlerinde ayarlanmıştır. Çözelti geçişinin kuartzın kullanılmasından çok etkilenmediği görülmüştür. Şekil 5.29 boşluk hacmine karşın U_3O_8 konsantrasyonunun değişimini göstermektedir. 43. boşluk hacmi sonrası çözelti geri beslenmiş ve derişimin bir miktar arttığı görülmüştür. Toplanan çözeltinin sonuç konsantrasyonu geri besleme öncesi ölçülmüştür. Bunu takiben ölçülen ve taze çözelti kullanılmış gibi değerlendirilerek grafikte noktalı çizgiler ile gösterilen derişimler kararlılığın korundugunu göstermektedir. Çözelti pH'sının ekstraksiyon süresince değişmediği ölçülmüştür.



Şekil 5.28. Yozgat-Sorgun-Temrezli Bölgesi Cevheri % 50 Kuartzlı Asidik Sistem Kolon Ekstraksiyon Denemesi.



Boşluk Hacmi Sayısı

Şekil 5.29. Yozgat-Sorgun-Temrezli Bölgesi Cevheri Dolgu Maddesiz Asidik Sistem Kolon Ekstraksiyon Denemesi

Kolon ekstraksiyon çalışmalarında basınç farkının üstten basınç uygulamayla sağlanması daha kararlı bir ekstraksiyon yapılmasına olanak sağlamıştır. Bu yolla çözelti buharlaşmasının olmadığı görülmüş ve önceki aşamada gerçekleşebilecek bir takım hatalar ortadan kaldırılmıştır. Aynı zamanda üstten uygulanan basınç alttan numune alınmasına da kolaylık sağlamış ve ekstraksiyon daha sağlıklı izlenmiştir.

Kuartz kullanılmayarak porozitenin azaltılması çözelti geçiş hızına etki etmiştir. Düşük poroziteli denemede % 50 kuartz kullanımında elde edilen çözelti geçiş hızına daha yüksek basınç farkı ile ulaşılabilmektedir. Bu olumsuz duruma karşın düşük poroziteli denemede ele geçen çözeltinin daha berrak olduğu görülmüştür.

Yapılan denemeler kolon yüksekliğinin çözelti derişimine etkili olduğunda göstermektedir. Geri besleme sonunda derişimin daha da artması bunu ispatlamaktadır. Bu sonuçlar gerçek arazi uygulamalarında bir fark yaratabilecektir. Ancak eldeki cevherin kısıtlı olması bu etkiyi gösterecek farklı dolgu yükseklikli denemelerin yapılmasına imkan vermemektedir.

Başlangıçta yüksek konsantrasyon elde edilmesi, partikül yüzeylerinde bulunan (+6) değerlikli uranyumun çözünmesinden kaynaklanabileceği gibi, bu tür işlemlerde sürücü kuvvet olan konsantrasyon gradientinin de yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Başlangıçtaki bu hızlı çözünmeyi takiben çözünme hızı bir miktar azalmışsa da genelde sabitleşmiştir.

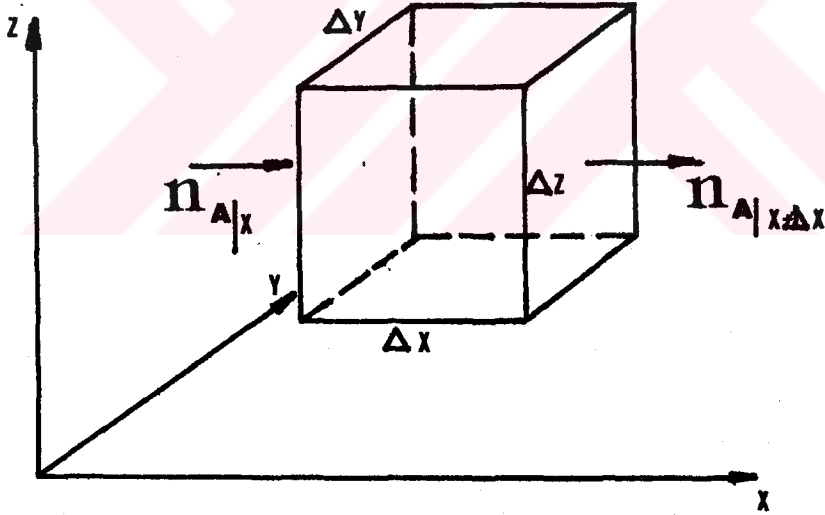
5.5.4. Kolon Ekstraksiyon Sonuçlarının Modellenmesi

Bölüm 2.3 de anlatıldığı üzere yerinde ekstraksiyon prosesinde çözeltinin poröz ortamda akışının matematik modellenmesi üzerine bir çok çalışma yapılmıştır. Bu modelleme çalışmalarında özellikle poröz ortam ve yerinde

ekstraksiyon işlemi için süreklilik eşitliği çeşitli durumlarda analitik ve nümerik yöntemlerle çözülmüştür. Yozgat-Sorgun-Temrezli uranyum cevheriyle kolon Ünitesinde uygulanan ekstraksiyon deneylerinin sonuçları, poröz ortamdaki kütle hareketi için geliştirilen süreklilik eşitliğinin çözümüyle elde edilen model sonuçlarıyla mukayese edilmek istenmiştir.

5.5.4.1. Model Denkleminin Geliştirilmesi

Model denklemini lineer bir akış ortamı içinde kütlenin korunumu kanunu U_3O_8 komponenti için Şekil 5.30 de görüldüğü gibi bir $\Delta x \Delta y \Delta z$ hacim elemanı için yazılabilir.



Şekil 5.30. $\Delta x \Delta y \Delta z$ hacim elemanı

Bu arada U_3O_8 'in R_A reaksiyon hızıyla oluştuğu göz önüne alınırsa, kütle eşitliğinin terimleri:

$$\begin{aligned} &U_3O_8 \text{ (A)'nın hacim elemanı içinde} && \frac{\partial C_A}{\partial t} \\ &\text{zaman boyutunda değişimi} && \Delta x \Delta y \Delta z \quad (5.17) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{A'nın x yüzeyininden girişi} && N_{Ax}|_x \Delta y \Delta z \quad (5.18) \end{aligned}$$

$$A'nın x+ x yüzeyinden çıkışı \quad N_{Ax} |_{x+\Delta x} \Delta y \Delta z \quad (5.19)$$

$$A'nın kimyasal reaksiyonla katı kütlede tükenme hızı \quad -(1-\emptyset)R_A \Delta x \Delta y \Delta z \rho_{c=ev}. \quad (5.20)$$

A kütlelerinin x eksenine dik yüzeyden giriş ve çıkışı gibi y ve z eksenlerine dik yüzeylerden de kütle giriş ve çıkışları vardır. Bu kütle hareketleride göz önüne alınarak elde edilen eşitlikler (5.21) eşitliğine taşınırsa

$$\emptyset \frac{\partial C_A}{\partial t} \Delta x \Delta y \Delta z + (N_{Ax} |_{x+\Delta x} - N_{Ax} |_{x+\Delta x}) \Delta y \Delta z + (N_{Ay} |_{y+\Delta y} - N_{Ay} |_{y+\Delta y}) \Delta x \Delta z + (N_{Az} |_{z+\Delta z} - N_{Az} |_{z+\Delta z}) \Delta x \Delta y = - (1-\emptyset)R_A \Delta x \Delta y \Delta z \rho_{c=ev} \quad (5.21)$$

elde edilir. Tüm eşitlik x y z hacim elemanına bölünür ve bu üç boyutun limiti hacim elemanı sıfıra giderken alınır

$$\emptyset \frac{\partial C_A}{\partial t} + \frac{\partial N_{Ax}}{\partial x} + \frac{\partial N_{Ay}}{\partial y} + \frac{\partial N_{Az}}{\partial z} = - R_A (1-\emptyset) \rho_{c=ev} \quad (5.22)$$

(5.22) eşitliği elde edilir. Bu $U_3 O_3$ komponentinin süreklilik eşitliğidir. Uzayda sabit bir noktada zaman faktörü göz önüne alınarak $U_3 O_3$ 'in kütle değişiminin değişimini tanımlamaktadır. Bu değişim A'nın hareketli ve kimyasal reaksiyonla üretimi sonucu oluşmaktadır. N_{Ax} , N_{Ay} , N_{Az} miktarı kartezyen komponentler olup $N_A = C_A \cdot u$ kütle akım vektörü şeklinde tanımlanabilir. Vektörel gösterim yoluyla (5.22) nolu denklem :

$$\emptyset \frac{\partial C_A}{\partial t} + (\nabla N_A) = - R_A (1-\emptyset) \rho_{c=ev} \quad (5.23)$$

halinde yazılabilir. (5.23) nolu denklem konsantrasyon

profili eldesi için kullanışlı bir şekil değildir. Na akısının konsantrasyon gradientlerini içeren şekliyle yazılırsa,

$$\frac{\partial C_a}{\partial t} + (\nabla C_a u) = -R_a (1-\emptyset) \rho_{cew} \quad (5.24)$$

(5.24) denklemi ele geçer. Vektörel eşitliği kartezyen koordinatlarda açılırsa,

$$\frac{\partial C_a}{\partial t} + \left(u_x \frac{\partial C_a}{\partial x} + u_y \frac{\partial C_a}{\partial y} + u_z \frac{\partial C_a}{\partial z} \right) = -R_a (1-\emptyset) \rho_{cew} \quad (5.25)$$

(5.25) denklemi ele geçer. y ve z yönlerindeki hız gradientlerini ihmal edebildiğinden (5.25) denklemi

$$\frac{\partial C_a}{\partial t} + u \frac{\partial C_a}{\partial x} = -R_a (1-\emptyset) \rho_{cew} \quad (5.26)$$

halini alır. Tabi bu denklemin çıkarılmasında yapılan en önemli kabul dispersiyonun ihmalidir. Ancak (5.26) ifadesinin Galichon ve çalışma arkadaşları [66] gibi birçok araştırmacı tarafından U_{3O_2} 'in poröz ortamdaki lineer süreklilik eşitliği olarak belirtildiği bölüm 3.2' de anlatılmıştı. (5.26) eşitliği ve önceki eşitliklerde verilen R_a ifadesi katı içinden uranyumun çözünme hızı olup

$$R_a = \frac{\partial W}{\partial t} = -k_r (W - W') \quad (5.27)$$

şeklinde kabul edilebilir. Bu ifadede W g U_{3O_2} / g cevher W' çözülmeyen cevherde kalabilecek g U_{3O_2} / g cevheri göstermekte k_r ise hız sabiti olup, çözücünün oksitleme gücü ve kütle transfer hızına bağlı kompleks bir değerdir. (5.27) ifadesi,

$$t = t_0 \quad 'da \quad W - W' = W_0 - W' \quad S.S.1$$

$$t = t \quad 'de \quad W - W' \quad S.S.2$$

sınır şartlarında integre edilebilir ve sonuçta

$$\ln (W - W') \Big|_{W_0 - W'}^{W - W'} = - k_r t \Big|_{t_0}^t \quad (5.28)$$

ele geçer. Bu arada (5.28) ifadesindeki t , kısmi bir boyutsuzlaştırma ile boyutsuz bir zaman olarak transfer edilen boşluk hacmi sayısı kullanılarak

$$V_p = \frac{q t}{V_{g0}} ; V_{g0} = V_t \emptyset ; V_p = \frac{q t}{V_t \emptyset} = \frac{u a t}{L \emptyset} = \frac{u t}{L \emptyset}$$

düzenlemesi ile $t = ((L * \emptyset) / u) * V_p$ ele geçer. Sınır şartlarında transfer edilen boşluk hacmi sayısını $t=t_0$ 'da $V_p = 1$ şeklinde düzenler ve sınır şartlarını tekrar göz önüne alarak (5.28) eşitliği yazılırsa

$$\ln \frac{W - W'}{W_0 - W'} = - k_r \frac{L \emptyset}{u} (V_p - 1) \quad (5.29)$$

ifadesi ele geçer, (5.27) aşağıdaki şekilde de ifade edilir.

$$W - W' = (W_0 - W') \exp \left\{ - k_r \frac{L \emptyset}{u} (V_p - 1) \right\} \quad (5.30)$$

Bu eşitlik (5.26) de yerine koyulunca

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = k_r \frac{L \emptyset}{u} (W_0 - W') (1 - \emptyset) \rho_{c0} \exp \left\{ - \frac{k_r L \emptyset}{u} (V_p - 1) \right\} \quad (5.31)$$

eşitliğine ulaşılır. (5.31) eşitliğinin sabitlerini bir R sabiti altında toplayınca (5.32) eşitliği elde edilir.

$$\emptyset \frac{\partial C_a}{\partial t} + u \frac{\partial C_a}{\partial x} = R \quad (5.32)$$

(5.32) eşitliğinin karakteristik denklemi 1. dereceden non-linear bir denklem takımı için, adi türev ifadeleriyle

$$\frac{d t}{\emptyset} = \frac{d x}{u} = \frac{d C}{R} \quad (5.33)$$

şeklinde yazılır. Buradan

$$\frac{d C}{d x} = \frac{R}{u} \quad (5.34)$$

ifadesini alır, $C = 0$ da $x = 0$ S.Ş.1.

$C = C$ de $x = L$ S.Ş.2.

sınır şartlarıyla integre ederek düzenleyince

$$C = \frac{R L}{u} \quad (5.35)$$

denkleme ulaşılır. R nin (5.31) daki takımı ifadeye yerleştirilince

$$C = \frac{k (W_0 - W') (1 - \emptyset) \rho_{\infty} L}{u} \exp \left\{ - \frac{k - L \emptyset}{u} (V_p - 1) \right\} \quad (5.36)$$

denklemini elde edilir. (5.33) deki ikinci ifade olan

$$\frac{d C}{d t} = \frac{R}{\emptyset} \quad (5.37)$$

boşluk hacim sayısı için integre edilirse

$$C = \frac{(W_0 - W')(1 - \emptyset) \rho_{\infty} \sqrt{u}}{k - L\emptyset} [\exp\{-\frac{k - L\emptyset}{u} (V_p - 1)\} - 1] \quad (5.38)$$

denklemini ele geçer.

Sonuç olarak (5.32) ifadesinin çözüm denklemini :

$$F[C] = \frac{(W_0 - W')(1 - \emptyset) \rho_{\infty} \sqrt{u}}{k - L\emptyset} [\exp\{-\frac{k - L\emptyset}{u} (V_p - 1)\} - 1] ;$$

$$C - \frac{k - (W_0 - W') \rho_{\infty} \sqrt{L}}{u} \exp - \left\{ \frac{k - L\emptyset}{u} (V_p - 1) \right\}] = 0 \quad (5.39)$$

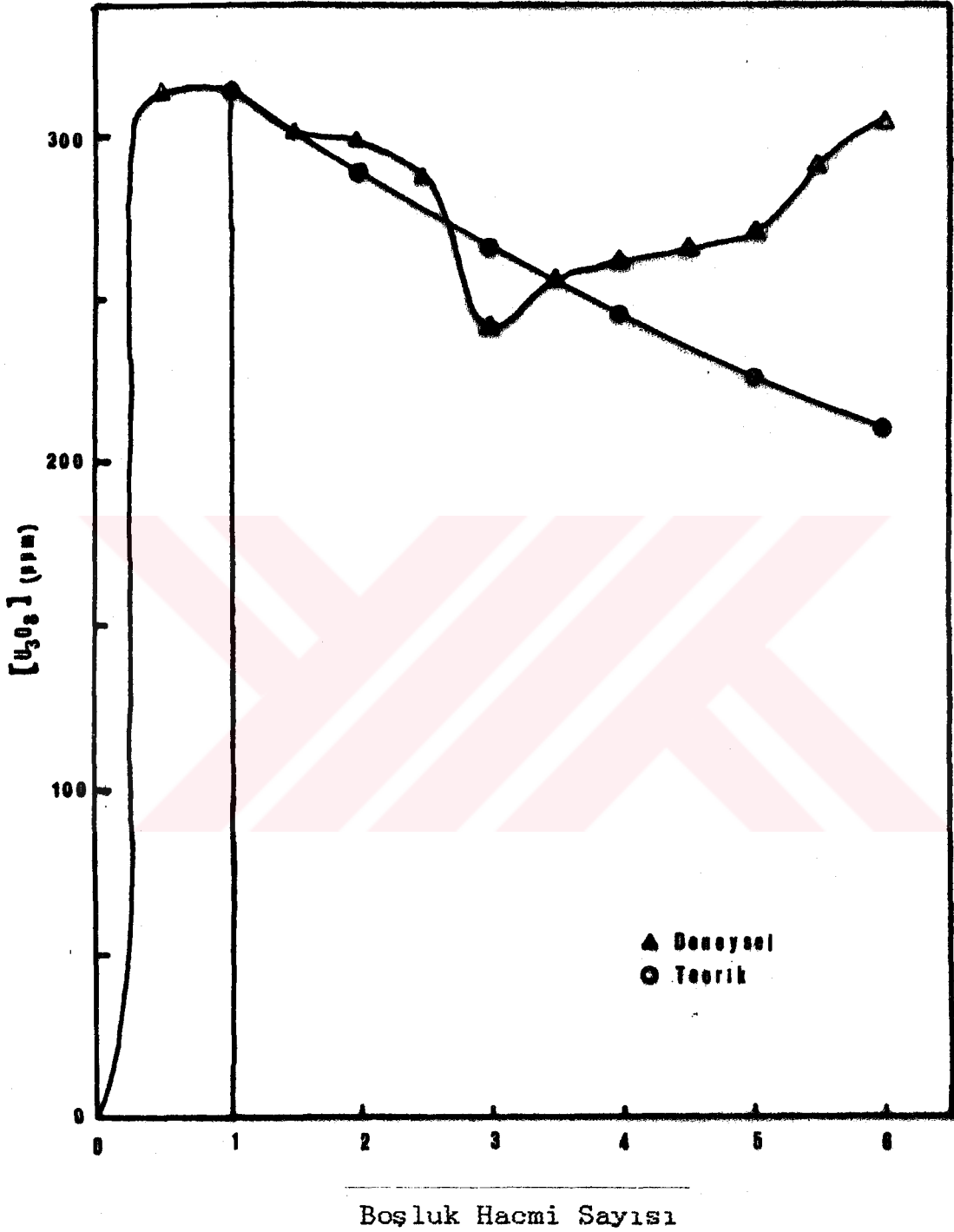
şeklindedir.

5.5.4.2. Model Denklemi ile Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması

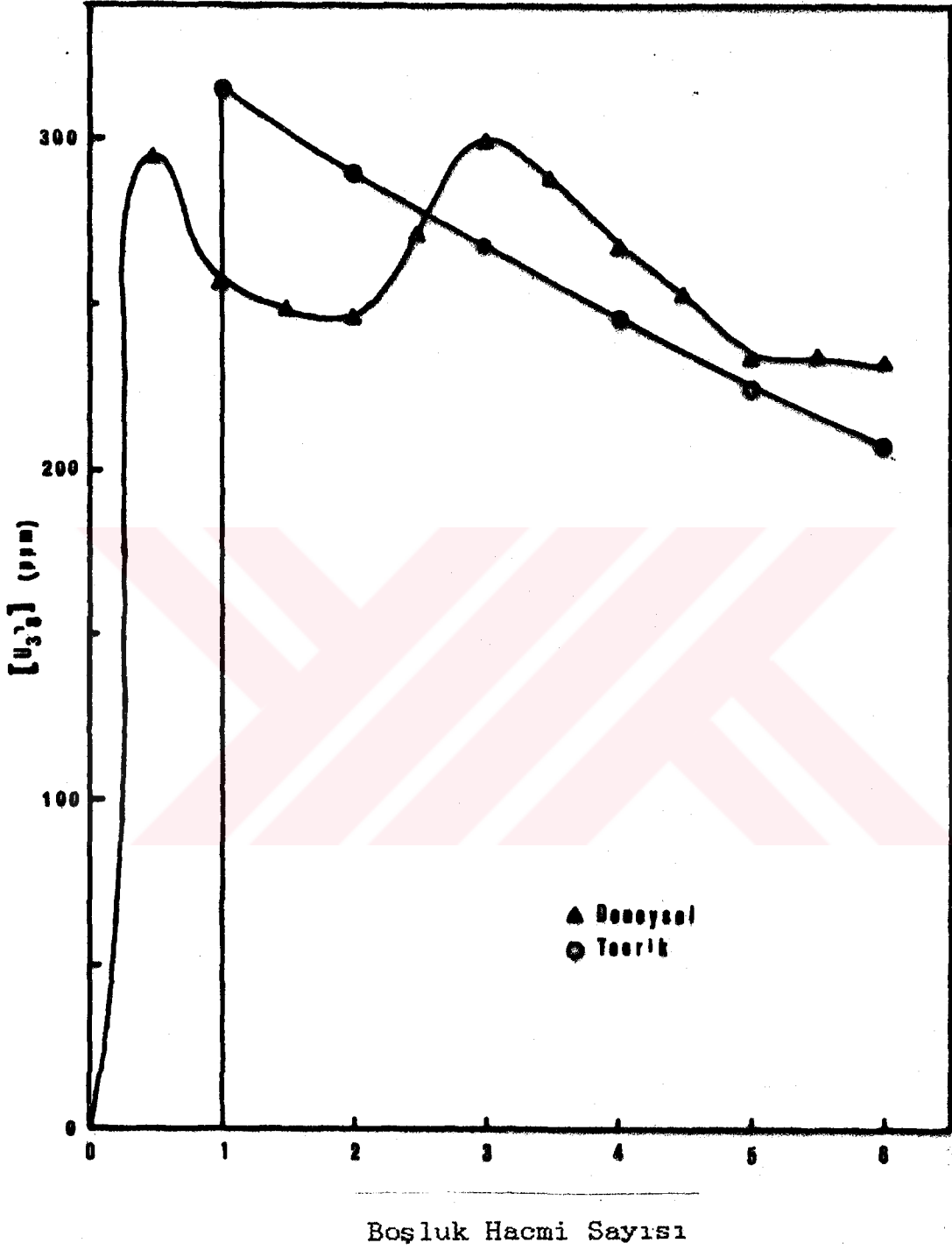
Bir boyutlu kararsız hal kütle denkliği eşitliğinin prosese ait mevcut sınır şartlarıyla analitik çözümünü veren (5.36) nolu eşitlikten teorik konsantrasyonlar hesap edilmiş ve bu değerler, kolon ekstraksiyon sonuçlarıyla mukayese edilmek istenmiştir. Bu değerlendirmede Galichon ve arkadaşlarının [66] çalışmalarında izlediklerine benzer hususlar göz önüne alınmıştır:

a. Reaksiyonun hız sabiti k -, çalkalayıcı ve otoklav kullanılarak belirlenememektedir. Çünkü diğer iki yöntemde mevcut olan Edi hareketleri bulunan k -'e etki etmektedir. Süzdürmeli ekstraksiyon için k - ancak çeşitli kolon ekstraksiyon denemelerinden ele geçen ortalama maksimum $U_{0.05}$ konsantrasyonu yoluyla belirlenebilir.

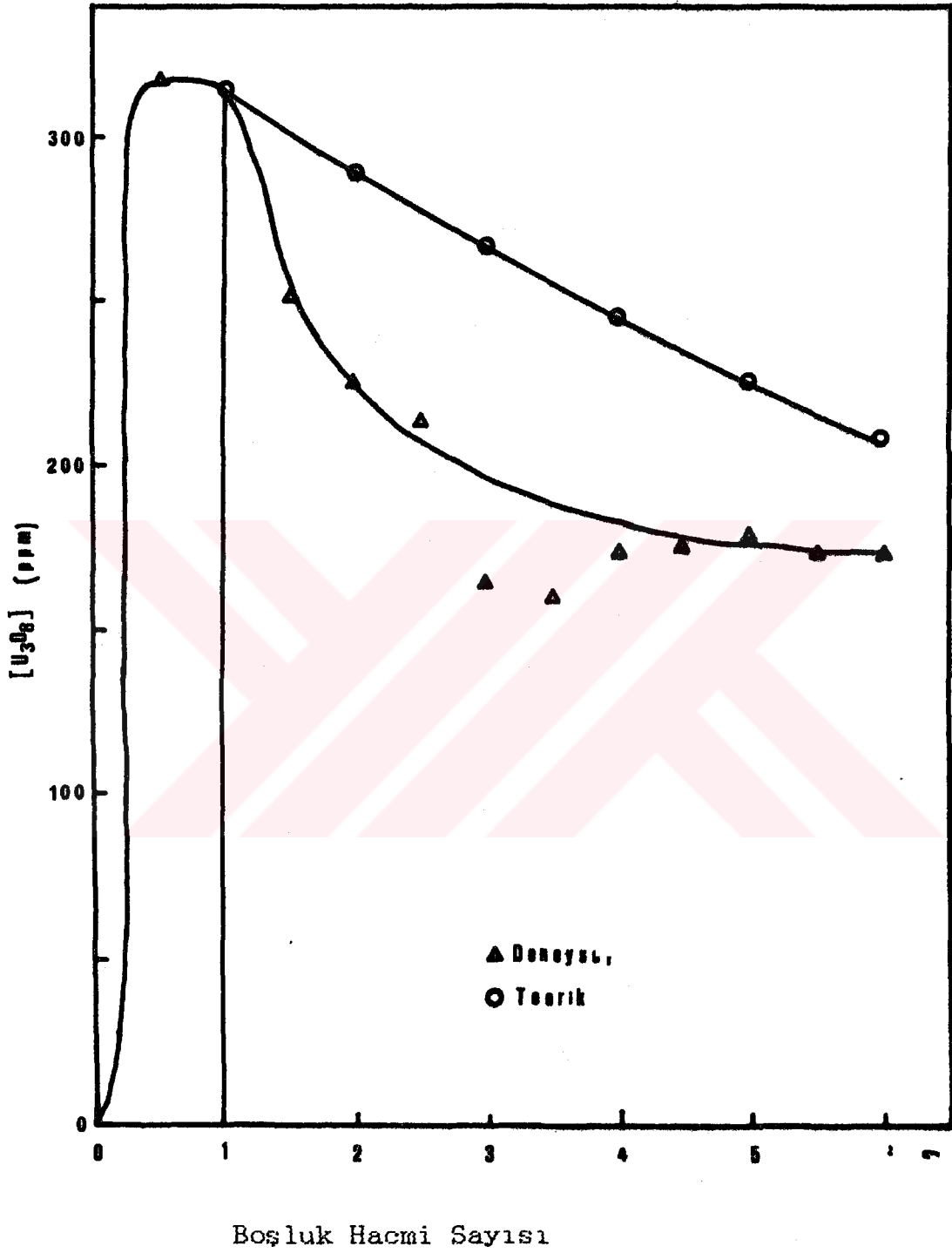
b. Denemelerde çalışılan akış hız aralığında, akış hızının değişiminin yürüyüşü etkilemediği kabul edilerek



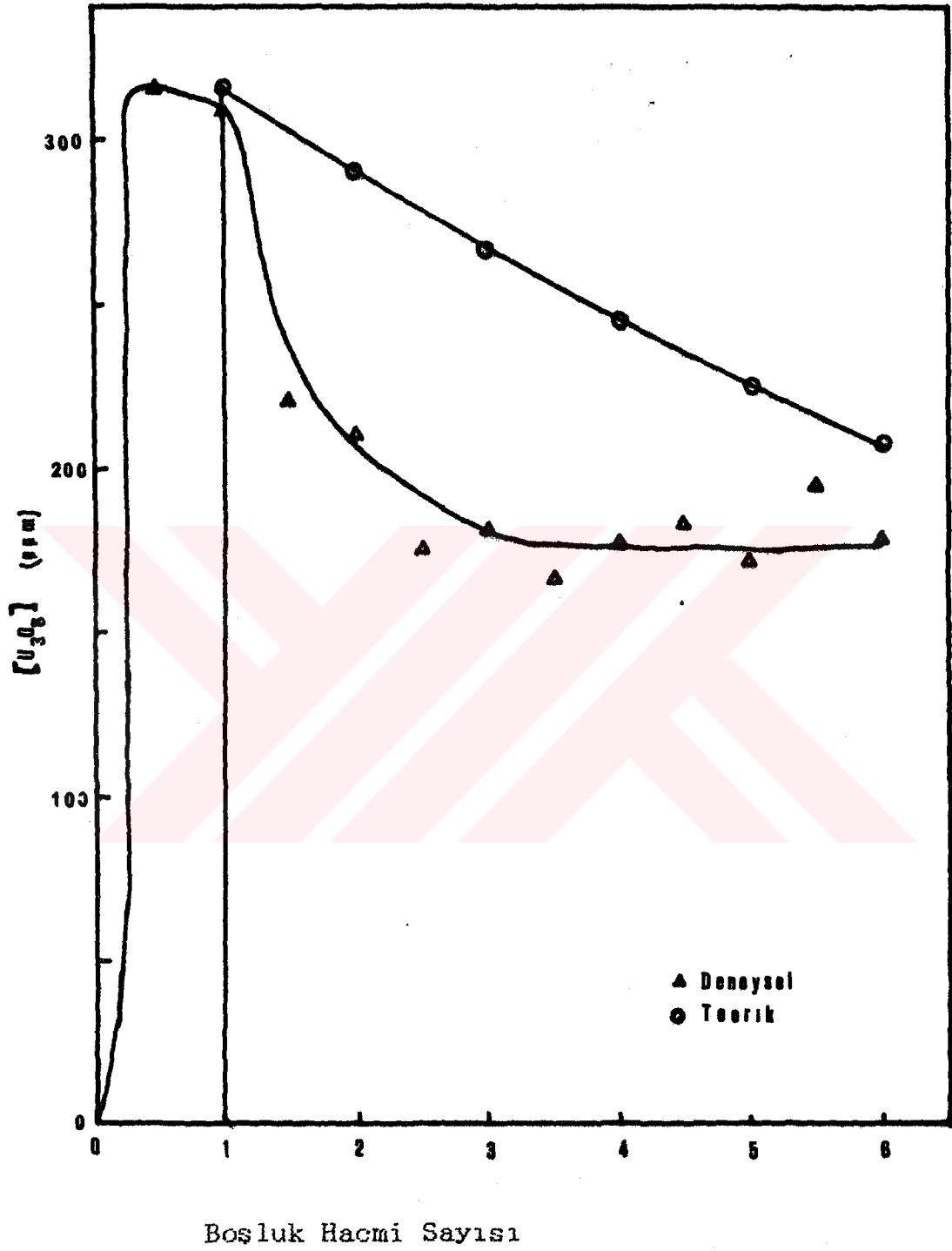
Şekil 5.31. $H_2SO_4-H_2O_2$ Sisteminde 0.727 Boşluk Hacmi/h Çözelti Hızında Kolon Ekstraksiyon Denemesi ve Model sonucuyla Karşılaştırılması.



Şekil 5.32. $H_2SO_4-H_2O_2$ Sisteminde 1.415 Boşluk Hacmi/h Hızında Kolon Ekstraksiyon Denemsi ve Model Sonucuya Karşılaştırılması.



Şekil 5.33. $H_2SO_4-H_2O_2$ Sisteminde 2.31 Boşluk Hacmi/h Hızında Kolon Ekstraksiyon Denemsi ve Model Sonucuya Karşılaştırılması.



Şekil 5.34. $H_2SO_4-H_2O_2$ Sisteminde 4.44 Boşluk Hacmi/h Hızında Kolon Ekstraksiyon Denemsi ve Model Sonucuyla Karşılaştırılması.

k-/u oranı sabit kabul edilmiştir. Bunun için u değıştikçe k de buna bağılı değışmektedir.

c. (5.36) denklemi $V_p < 1$ için geçerli değildir.

Şekil 5.31 100 g cevherle 0.1 M H_2SO_4 0.3 g/l H_2O_2 içeren oksitli çözelti kullanılarak gerçekleştirilen kolon deney sonucunu göstermektedir. Deney süresince çözelti akış hızı saatte 0.727 boşluk hacmi olacak şekilde ayarlanmıştır. İlk 4 boşluk hacmi boyunca deney sonuçlarının teorik sonuçlarla büyük uyumluluk içinde olduğu görülmektedir. Son iki boşluk hacmi süresince deneysel değerler model sonuçlarından sapma göstermiştir. Bu sapmanın nedeni düşük hızla hareket eden çözeltinin dispersiyonla cevherin tüm boşluklarına yayılması ve bu sebeble yüksek konsantrasyon gradienti meydana getirmesidir. Deney süresince 40 mm Hg sütunu olan basınç farkı deney sonuna doğru 80 mm Hg'ya çıkmış, böylece geçirgenlik kaybı olduğu görülmüştür.

Şekil 5.32 de ise yine aynı miktar cevher ve çözelti ile saatte 1.415 Boşluk hacmi karşılığı olan bir hızda çalışılmıştır. Deney sonuçlarında başlangıçta bir salınım izlenmiş, 2.5 boşluk hacmini takiben teorik sonuçlarla deney sonuçları uyumluluk göstermiştir. Bu deneyde de bir öncekine benzer bir basınç kaybı olduğu gözlenmiştir.

Şekil 5.33 den de görüleceği üzere çözelti geçiş hızı 2.31 boşluk hacmine çıkarılınca deney sonuçlarında modele daha iyi bir uyum gözlenmektedir. 2 ve 4 boşluk hacmi arasında deneysel sonuçlarda teorik sonuçlardan daha hızlı bir uzaklaşma tespit edilmişken ileriki aşamalarda farkın azaldığı görülmektedir. Bu denemede başlangıçta 100 mm Hg olan basınç farkı deneyin ilk 2 boşluk hacminde 2 misline çıkmış, bundan sonra önemsiz bir artışla 240 mm Hg'ye ulaşılmıştır.

Şekil 5.34 geçiş hızının yaklaşık bir öncekine nazaran 2 misli arttırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Bu denemede de ekstraksiyon öncekine paralel bir gelişme

göstermiştir. Basınç farkı başlangıçta 360 mm Hg iken 3. boşluk hacminde 490 mm Hg'ye ulaşmış deney sonucunda ise 550 mm Hg olarak gerçekleşmiştir.

Bu dört deney sonucuna göre akış hızı yaklaşık 6 kez arttırılmasına karşın, ekstraksiyon başlangıcındaki ele geçen çözeltinin uranyum konsantrasyonu bütün deneylerde aynı mertebede kalmıştır. Çözeltiler başlangıçta çok hafif bir bulanıklık göstermesine karşın kısa süre içinde berraklaşmıştır. Basınç kayıpları başlangıç değerlerinin 2 misline ulaşmışsada çözelti berraklıkları yapıda önemli bir parçalanma olmadığını göstermiştir. Basınç kayıplarındaki bu artmanın nedeni, kolondaki cevher yatağının zamanla sıkışmasıdır.

Deney sonuçlarının teorik değerlere karşın bazı sapmalar gösterdiği görülmüşse de genelde iyi bir uyum içinde olduğu söylenebilmektedir. Mevcut sonuçlardaki sapmaların y ve z yönlerindeki hareketle, yayılmadan kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Ancak bu sonuçlara göre geliştirilen denklemin deneysel sonuçları modelleme için yeterli olduğu söylenebilir.

5.5.5. Kolon Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Önceki kısımlarda da anlatıldığı üzere herhangi bir rezervin yerinde ekstraksiyon yöntemiyle değerlendirilmesine karar vermek için gerçekleştirilen teknolojik çalışmaların en önemli aşamalarından birisi kolon ekstraksiyon denemeleridir. Her ne kadar ilk çalışmalar temel parametrelerin tespiti için çalkalayıcı ve otoklavda gerçekleştirilebilirse de bu denemeler kesin aşamada yetersizdir. Bölümün başında belirtildiği gibi yerinde ekstraksiyon uygulamasında çözelti sabit bir ortam olan cevher içinden süzülerek akmaktadır. Kolon ekstraksiyon çalışmaları haricinde ise çözelti ve cevher belirli oranlarda karışmış vaziyette hareketli bir ortamdadır. Hareket yüzünden gerçekleşen Edi olayları çözünme hızına etki etmektedir.

Bu nedenle geçerli bir simülasyon ancak çözeltinin cevher içinden akışını benzer bir ortamda taklit ederek yapılabilir.

Yukarda bahsedilen nedenlerle başlatılan kolon ekstraksiyon çalışmalarında çözelti akışı ilk aşamada alttan vakum uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde gerçekleştirilen ekstraksiyon denemeleriyle çalkalayıcıdan elde edilen sonuçlarla kolon arasındaki uyumluluk incelenmiştir. Bu incelemede hareketin eksikliği nedeniyle çözünme hızının düştüğü tespit edilmiştir. Ancak çözelti hızındaki düşmeye rağmen sonuç verimin çalkalayıcı denemelerinde elde edilen değerlerde kaldığı görülmüştür. Çalkalayıcı denemelerinde alkali ekstraksiyonda gözlenen yapı parçalanması neticesindeki bulanıklık kolon ekstraksiyon çalışmalarında görülmemiştir. Bu sonuç kolon ekstraksiyon denemelerinin çalkalayıcıya bir üstünlüğü olup süzdürmeden kaynaklandığı anlaşılmaktadır.

Alttan vakum uygulama yoluyla gerçekleştirilen denemelerde, sonuç verimlerde çalkalayıcıyla aynı değere ulaşılmış olmasına karşın, vakum yüzünden aşırı buharlaşma gözlenmiştir. Aşırı buharlaşmanın deney üzerine olan olumsuz etkisini ortadan kaldırmak üzere deney düzeneginde değişikliğe gidilmiş ve bunun olumlu etkileri gözlenmiştir. Üstten basınç uygulama yoluyla istenen geçiş daha düşük bir basınç farkıyla gerçekleştirilebilmiştir.

Birinci aşamada kolon denemeleriyle kesikli denemeler arasında uyumluluk incelenmiş ikinci kademede yerinde ekstraksiyona yönelik çalışmalara geçilmiştir. Bu aşamada gerçekleştirilen denemelerde elde edilen sonuçların daha anlamlı olması için ekstraksiyonun yürüyüşü bu kez boşluk hacmine karşın takip edilmiştir. 50 gram numuneyle dolgu malzemeli ve dolgusuz gerçekleştirilen denemelerde üstten basıncın uygulanması yararlı olmuş ve çok daha az basınç farklarıyla yüksek geçiş hızları elde edilmiştir. Çözeltinin geri beslenmesi sonrası çözelti konsantrasyonu çok daha fazla yükselsede genel eğilim geri besleme öncesi durumun takibi şeklinde olmuştur.

Üstten basınç uygulamasıyla dolgu malzemesine duyulan ihtiyacın kalkması neticesinde kolon çalışmalarının bir süreklilik eşitliğiyle modellenmesine yönelik modelleme çalışmalarına geçilmiştir. Dispersiyon teriminin ihmal ile geliştirilen denklemin özel koşullarda çözümü ile elde edilen sonuçlar bu amaca yönelik gerçekleştirilen değişik akış hızlarındaki deney sonuçlarıyla karşılaştırılma yoluna gidilmiştir. Model sonuçlarıyla deneysel sonuçları arasında büyük uyumluluk görülmüş, mevcut farkların ise ihmal edilen terimden kaynaklanabileceği literatür sonuçlarının incelenmesi sonucu anlaşılmıştır.

Denklemden elde edilen sonuçlar kolon ekstraksiyon çalışmalarında uranyumun çözünme hızının kütle transferi kontrollü olduğunu göstermektedir. Bu yolla elde edilen sonuçlar ile kesikli denemelerdeki kinetik inceleme sonuçları birbirini desteklemektedir. Bölüm 5.4 te de belirtildiği üzere gerçekleştirilen denemelerin difüzyon kontrollü olduğu aktivasyon enerjilerinden anlaşılmıştır.

Gerçekleştirilen kolon ekstraksiyon denemeleriyle Yozgat-Sorgun-Temrezli uranyum rezervine asidik ekstraksiyonun uygulanmasında her hangi bir problemin olmadığı anlaşılmaktadır. Asidik ekstraksiyonda gözlenen basınç düşünün önemli mertebelerde olmadığı ve çözeltinin çok berrak olduğu gözlenmiştir.

Teorik sonuçlarla deneysel değerler arasında görülen sapmaların y ve z yönlerindeki hareketle, yayılmanın ihmalinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Denemelerde maksimum uranyum eldesinin akış hızından bağımsız olduğu doğrulanmıştır. Çözümü gerçekleştirilen denklemin kolon ekstraksiyon denemelerinin modellenmesinde yeterli olduğu anlaşılmıştır.

6. YERİNDE URANYUM EKSTRAKSİYONU PROSESİNİN MALİYET VE FİZİBİLİTE ANALİZİ

Yerinde ekstraksiyon prosesi, sonucu sarı pasta üretimine kadar giden bir dizi işlemde oluşmaktadır. Bu işlemlerden birinin çıktısı diğerinin girdisini oluşturmaktadır. Bu sebeple cevher tenörü, miktarı, ekstraksiyon kazanımı gibi önemli parametrelerin en doğru şekilde tespit edilmesi gerekmektedir. Başlangıçta bu temel parametrelerde yapılacak bir yanlışlık etkilerini maliyet açısından ilerki her safhada gösterecektir. Bu temel parametrelerin doğru tespitlerinin yanısıra bunlarda gerçekleşebilecek her hangi bir değişimin maliyetleri nasıl etkileyeceği incelenmelidir. Yeni bir teknolojik yöntem olmasına karşılık gerek uranyum gerekse değişik minerallere In Situ proseslerin uygulanması ve bunların maliyetlendirilmesi ile klasik madencilik yöntemleriyle karşılaştırılması üzerine pek çok çalışma yapılmıştır [95-99].

Cözelti madencilığının ekonomik fizibilitesini yapabilmek için jeolojik, hidrolojik ve mineralojik değerlerin iyi bilinmesi gereklidir. Laboratuvar ölçekli gerçekleştirilen teknolojik çalışmalarla Yozgat-Sorgun-Temrezli uranyum rezervinin değerlendirilmesi ile ilgili fiziksel parametreler sağlanmış ve hidrometalurjik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Ancak bu değerler ile rezervden U308'in ekonomik olarak üretilip üretilmeyeceği söylenememektedir. Bu yüzden gereksinilen jeolojik değerler MTA raporlarından elde edilerek değerlendirilmeye alınmıştır. Ancak MTA hidrolojik çalışmaları sonuçlandıramadığından, bununla ilgili parametrelerin bir kısmı kabul yoluyla gözönüne alınmıştır. Yozgat-Sorgun-Temrezli bölgesine ait gerçekleştirilen çalışmalardan elde edilen sonuçların güvenilirliği cevher yatağı ile ilgili fizibilite çalışmalarının güvenilirliğine bağlıdır.

Bunun yanısıra nakit akışının belirlenmesi fizibilite ve daha sonra işletmenin çalıştırılmasında önemli bir unsur teşkil etmektedir. Fizibilite safhasında kurallara göre yapılmayan kaynak sağlama ve nakit akışı bir işletmeyi daha yatırım safhasında dar boğaza sokacak ve finans yükü altında maliyetlerin artmasına neden olacaktır.

Yerinde ekstraksiyon tesisiyle ilgili maliyet kalemlerinin ve bunların değerlerini gösteren çalışmaları literatürde bulmak mümkün değildir. Ancak Amerika Birleşik Devletleri, Maden Dairesi (US Dept. of the Interior, Bureau of Mines) tarafından NUS Corporation adlı özel bir kuruluşa yaptırılan "Cost and Sensitivities Analysis for Uranium In Situ Leaching" adlı rapor A.B.D.'deki çeşitli ticari ve pilot ölçekli tesislere ait detaylı maliyet bilgilerini kapsayan önemli bir kaynaktır [95]. Gerçek saha uygulamalarına ait bilgileri kapsamamasından dolayı çalışmada bu rapor esas olarak alınmış, raporda verilen analiz yöntemi Türkiye ihtiyaçlarına göre, gerekli düzenlemelerle değerlendirilmiştir.

Şekil 6.1 bir yerinde ekstraksiyon prosesinin ekonomik fizibilite analizi işleyişini göstermektedir. Bu şemaya bağlı olarak gerçekleştirilen bilgisayar paket programı ile jeolojik ve metalurjik parametrelerden yola çıkarak kuyularla ve yer yüzü işletme tesisleriyle ilgili pek çok mühendislik parametreleri hesaplanabilmektedir. Bu mühendislik parametrelerinden faydalanılarak sermaye maliyetleri, işletme gider ve maliyetleri belirlenmektedir. Bunlara bağlı olarak ayrıca dünya uranyum birim fiyatları veya verim oranlarından faydalanılarak nakit akımı işletme öncesi ve esnası için gerçekleştirilmektedir.

Bu tür bir programla ileriye yönelik simülasyon yapılabilir ve işletmenin her türlü parametresindeki değişikliklerin etkilerinin tespiti mümkün olabilmektedir. Bu programlar ayrıca çeşitli olanaklarla elde edilmiş parametrelerden itibaren ileriye dönük tahminlerin gerçekleştirildiğinde durumun ne olacağını önceden görme ve gerekli tedbirleri zamanında alma imkanını sağlar. Ayrıca

herhangi bir parametre deðiştiğinde sonucun bundan nasıl etkilendiğini gösteren duyarlılık analizi için büyük kolaylık ve hız sağlar.

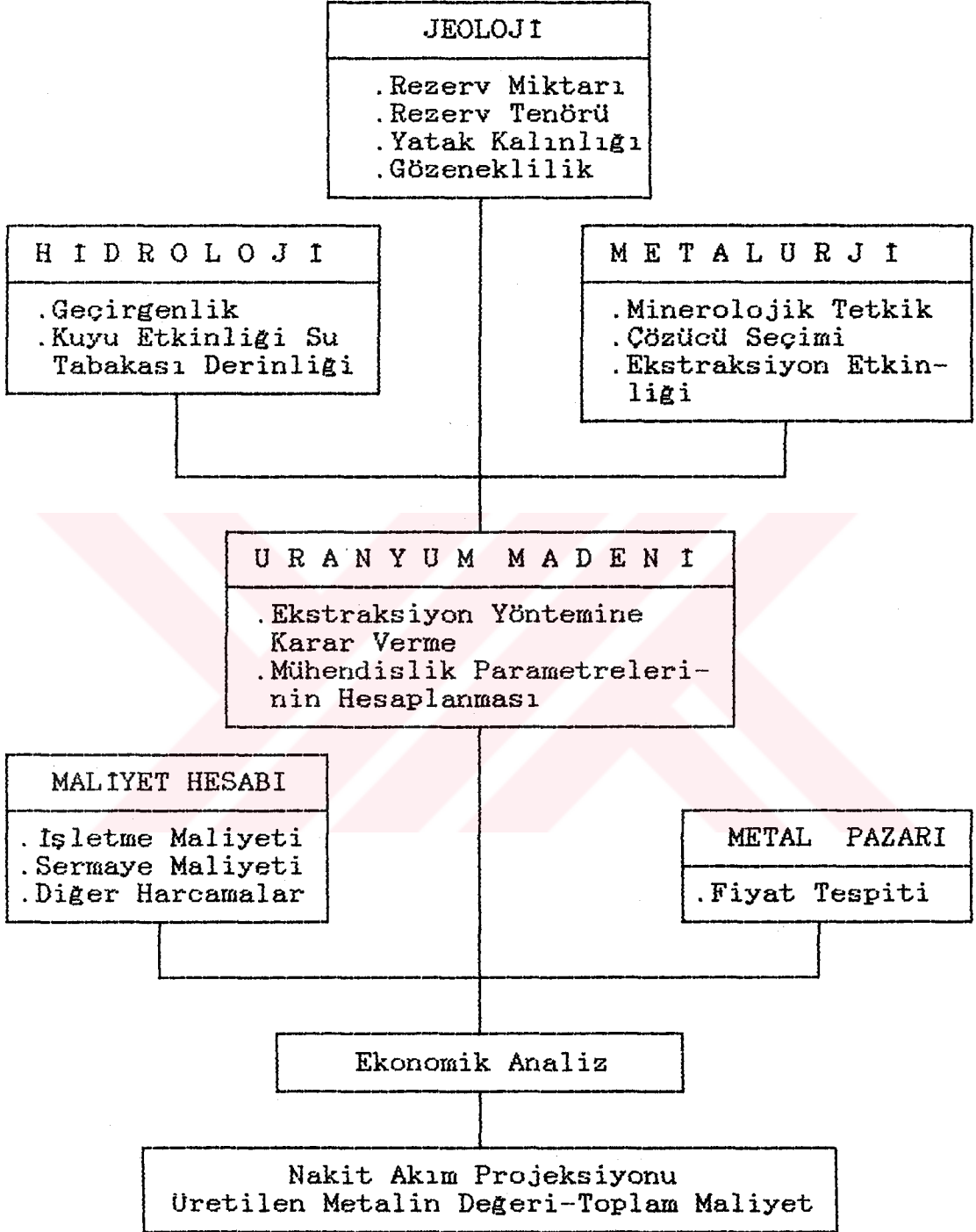
6.1. BİLGİSAYAR PAKET PROGRAMI VE HESAPLAMA YÖNTEMİ

Yukarıda kısaca izah edilen ve Şekil 6.1'de şematik olarak gösterilen Yerinde uranyum ekstraksiyon prosinin maliyet ve ekonomiklik analizini hesaplamak için gerçekleştirilen ve bölümümüzde bu yöntemle ilgili deneysel ve teorik modelleme çalışmaları neticesinde elde edilen tecrübeler ışığında olgunlaştırılan bilgisayar paket programı, yaklaşık 1150 satır içermekte olup 36 kbyte uzunluğundadır. Programlama dili Basic olarak seçilmiştir. Hesaplama da kullanılan maliyet modelinin başlıca özellikleri :

- 1) Sermaye ve operasyon maliyetlerinin detaylı olarak tespiti,
- 2) En az birim satış geliri veya öz sermaye bazlı geri dönüş oranı için çözüm,
- 3) Minimum fiziksel ve işletme verileri için detaylı inceleme,
- 4) Proje süresince gerçekleşebilecek statik veya dinamik bölgesel koşulları kabulle hesaplama,
- 5) Kullanıcıya kendi isteğine uygun sermayeleme imkanını seçme hakkı,
- 6) Duyarlılık analizi uygulamalarına maksimum hızda duyarlılık,
- 7) yerinde ekstraksiyon konusunda minimum bilgiye sahip kişilerce dahi kullanım imkanıdır.

Bilgisayar paket programı beş alt modelden oluşmaktadır. Bunlardan dört tanesi proses analiziyle bir tanesi ise finans analizi ile ilgilidir. Bu alt modeller :

- I. Kuyuların Tasarımı ve Maliyeti,
- II. Ekstraksiyon Tesislerinin Maliyeti,
- III. Sermaye Maliyet Analizi,
- IV. İşletme Maliyet Analizi,
- V. İndirgenmiş Nakit Akımı Analizidir.



Şekil 6.1. Yerinde Değerlendirme Prosesinin Ekonomik Fizibilite Analiz Kademelerinin Şematik Gösterilişi.

6.2. MODELİN GELİŞTİRİLMESİ

Yerinde değerlendirme prosesinin maliyet analizi ile ilgili bilgisayar paket programı yukardaki kısımlarda anlatılan yapıya uygun olarak modellenmiştir. Gerçekleştirilen modelin bilgisayara programlanmasında kullanılan yöntemler için esas olarak Toth ve Annett'den yararlanılmıştır [95]. Tüm maliyetlendirmeler 1985 yılı Amerikan doları esas alınarak gerçekleştirilmiştir.

6.2.1. Program Giriş Dataları

Giriş dataları iki grupta toplanmıştır. Birinci grup veriler minimum giriş data seti olup, gerekli fiziksel, işletme ve finans parametrelerini içermektedir. İkinci gruptaki veriler ise seçimli olup proje ile ilgili baştan her zaman belirlenemeyecek değerleri içermektedir. Bilgisayara veri olarak yüklenmesi gereken parametrelerin bir kısmı Tablo 6.1 de görülmektedir.

Tablo 6.1. Fiziksel, İşletme ve Finans Parametreleri

Fiziksel	İşletme	Finans
Rezerv Derinliği	Yıllık üretim miktarı	Satış Gelirleri
Rezerv Kalınlığı	İşletme Süresi	Geri Dönüş
Rezerv Tenörü	Kuyu Yerleşim Modeli	Oranı
Bunların Değişimi	Enerji Maliyeti	Öz sermaye oranı
Kazanım	Kuyu Mesafeleri	Kredi Faizi
	Kimyasal Madde Maliyeti	Faiz Geri Ödeme
	Çözelti Derişimi	Süresi
	Üretim Kuyu Akım Hızı	

6.2.2. Kuyu Bölgesi Analizi

Kuyu bölgelerinin karakteristikleri ve maliyetleri iki alt programda belirlenmektedir. Karakteristiklerin belirlendiği birinci kısımda cevherin bulunduğu konumun özellikleri ve istenen üretim kuyusu akım hızı ile projenin zaman kriterlerinden faydalanarak proses için gerekli kuyu alanının sayısı belirlenmektedir. Bu aşamayı takiben de her bir kuyu alanının başlangıç anına göre devreye girmesi gereken zaman hesaplanmaktadır.

Bu kısımdaki hesaplamalar, teknolojik çalışmalarla belirlenen fiziksel parametrelere dayanmaktadır. Ayrıca yöntemin uygulamasında kullanılacak batarya türünde önceden belirlenmelidir. Çünkü program belirlenen batarya cinsine bağlı olarak, deneysel çalışmalarla belirlenen süpürme etkinliği yardımıyla değerlendirilebilecek cevher alanını hesaplamaktadır. Değerlendirilecek alandan kazanılabilecek uranyum miktarı ise cevherin o konumdaki tenör ile kalınlığına ve ekstraksiyon verimine bağlı olarak hesaplanır. Ayrıca deneysel çalışmalarla elde edilen çözelti derişimi ve üretim kuyusu akım hızı gibi parametreler kullanılarak bir bataryanın günlük üretimi ve ömrü hesaplanır. Batarya ömrü, işletme parametreleri olan işletme süresi ve yıllık çalışılması planlanan gün sayısı gibi değerler rezervin tamamen değerlendirilmesi için gerekli kuyu bölgesi sayısını hesaplamada kullanılır.

Sayısı belirlenen kuyu bölgelerinin devreye gireceği zamanlar; batarya ömürleri ve yıllık çalışılacak gün sayısı yardımıyla, başlangıç anı sıfır kabul edilerek bir çevrim içinde hesaplanır. Birinci kademenin son hesaplaması, yıllık üretim miktarıyla çözelti derişiminden, kuyu bölgesinin akış hızının ve her kuyu bölgesinin batarya sayısının belirlenmesidir. Bu kısımda hesaplanan fiziksel değerler 1 nolu çıkış tablosunda verilir.

İki nolu alt program yine kuyu bölgesi analiziyle ilgili olarak, 1. alt programda belirlenen her bir kuyu

bölgesinin maliyetlendirilmesine yöneliktir. Özellikle her kuyu bölgesine yapılması gereken ana yatırımlar olan delme, kuyuların betonlanması, kuyu içi ekipmanları (pom-palar, borular), yüzey ekipmanları (borular, elektirik tesisatları) harcamaları ve diğer muhtelif masraflar hesaplanmaktadır. Bu hesaplamalar özellikle bataryanın türüne kuyular arası mesafelere besleme/üretim kuyu oranına, rezervin derinliğine ve kuyu alanının yerleşimine bağlılık göstermektedir.

Birinci alt programda belirlenen batarya sayısı üretim kuyularının sayısı olarak alınır. Besleme/Üretim kuyuları oranından faydalanarak besleme kuyularının sayısı bulunur. Proseste kullanılan 3. tür kuyu olan gözlem kuyularının sayısı ise ticari uygulamalara bağlı bir biçimde toplam kuyuların % 10'u olarak alınır. Sayıları belirlenen bu kuyuların delme ve borulama maliyetleri, program içindeki tüm uygulamalarla beraber, 1985 amerikan dolarıyla tespit edilmiş rezervin derinliğine ve kullanılacak boru türüne bağlı olarak değişen değerlerden hesaplanır. Bu kısımda hesaplanan bir başka parametre kuyu içi ekipmanlarının maliyetidir. Öngörülen kuyu türünde kullanılacak gereçlerin Amerikan Maden Dairesince belirlenen fiyatlarıyla hesaplamalar gerçekleştirilir [95]. Burada kullanılan başlıca gereçler çalışılan derinlik için gereksinilen pompalar, borular, akım metreler, elektrik tesisatları, kontrol panelleri ve restorasyon ekipmanlarıdır. Ayrıca besleme kuyularına taze, ekstraksiyon tesisine ise zenginleşmiş çözelti taşıyan boruları ve bunlarla ilgili gereçlerin maliyeti yüzey ekipmanları maliyeti olarak hesaplanır. Bu hesaplamalar için bataryanın yerleşimi önceden bilinmelidir.

İkinci alt programda sadece 1. kuyu bölgesi için hareketli ekipman maliyetide göz önüne alınır. Böyle bir tesis sahanın bakımı, düzenlenmesi, kuyuların açılması ve servis hizmetlerinin sürdürülmesi için çeşitli servis kamyonlarına, treyler, hareketli vinç, greyder ve buldozere gerek duymaktadır. Ancak bu araçların sayısı kapasiteye çok bağlı değildir. 1985 fiyatlarıyla 355000 doların

bu işe yeteceği düşünülmüştür.

Her kuyu alanı için hesaplanan ; Delme ve borulama masrafı, Kuyu içi ve dışı ekipman masrafları, hareketli ekipman masrafıyla toplam maliyetleri 2 nolu toplam kuyu bölgesi maliyet listesinde verilmektedir.

6.2.3. Ekstraksiyon Tesis Analizi

Bir önceki bölümde uranyumun cevherden çözeltiye geçirilmesi incelenerek bunun maliyetlendirilmesi yoluna gidilmişti. İkinci aşamayı oluşturan bu kısım kuyu bölgesinden gelen çözeltinin değerlendirilmesi üzerinedir. Bir ekstraksiyon tesisi süzme, iyon değiştirme, sarı pasta çöktürme ve sarı pasta saflaştırma kademelerinden oluşmaktadır. Bu kısımda, bu amaca yönelik bir ekstraksiyon tesisinin seçilip, boyutlandırılarak maliyetlendirilmesi yoluna gidilmektedir.

İlk aşamada bir önceki kısımda sayıları ve debileri belirlenen kuyu bölgesinin akım hızları kendi aralarında değerlendirilir. En büyük debiye sahip kuyu bölgesi belirlenir. Bu değer emniyet sınırlarına göre ayarlanır. Kapasitesi belirlenmiş olan ekstraksiyon tesisinin maliyetlendirilmesi ancak tesiste kullanılacak olan proses türüne bağlı olarak belirlenir. Sarı pasta üretiminde çok sayıda ve türde ekstraksiyon tesisi kullanılmaktadır [34]. Ancak bu çalışmada yine Amerikan Maden Dairesince önerilen ve maliyetleri bilinen sürekli üstten beslemeli ekstraksiyon prosesi değerlendirilmeye alınmıştır [95]. Bu aşamada kurulacak tesisin maliyeti, tesis elemanlarına, ekipman yerleşimine, kurma ve montaja, bölge düzenlemesine, dolaylı harcamalara ve yol inşaat masraflarına bağlıdır. Ayrıca ısıtma, havalandırma sistemlerine sahip laboratuvar, ofis, toplantı odaları ve depoları kapsayan bir binanın maliyetide belirlenmektedir.

6.2.4. Sermaye Maliyeti Analizi

Bu kısımda sermaye yatırımlarına giren tüm maliyetler belirlenmektedir. Bundan önceki iki kısımdaki hesaplamlarda sermaye maliyetlerini oluşturan ilk 4 proses ekipman maliyeti, yerleşme ve bölge düzenlemesi, bina maliyeti ve başlangıç kuyu maliyet değerleri belirlenmişti. Burada diğer 8 parametre hesaplanmaktadır. Bu 8 parametre izin, pilot tesis, restorasyon sistemi, mühendislik/proje danışmanlık maliyetleri ve bunlara bağlı olarak bundan önce sayılan maliyetlerin toplamı olan sabit sermaye maliyeti, güvenlik fonu, ertelenmiş sermaye ve tümünün toplamı olan toplam sermaye maliyetidir. Bu kısımda kullanılan ve hesaplanan maliyetler eklerdeki ilgili kısımlarda görülmektedir.

Bu kısımda ki hesaplamlarda ruhsatlandırma (izin maliyeti) belirgin bir değer olmayıp, genellikle bürokratik harcamaları karşılamak için giriş verisi olarak kabul edilir. Önceki bölümlere paralel bir hesaplama ile bu konuyla ilgili işletme harcamaları için gerekli maliyet belirlenir. Pilot tesisi tasarlanan işletmenin ufak çaplı bir örneği olarak 4 adet 7-noktalı bir bataryadan oluşacak şekilde planlanmıştır. Ayrıca ufak bir ekstraksiyon tesisini de içermektedir. 10 personel ile yürütülmesi planlanan bu pilot tesisi uygulamasının ürününün de aynı yıl içinde değerlendirilmesi öngörülmüştür. Bu tesisin maliyetinde, bu iş için gerekli yerleşim ve inşaat maliyeti, kimyasal maddelerin maliyeti hesaplanan başlıca harcamalardır. Pilot tesisin üretimine bağlı olarak kimyasal madde, güç tüketim, bakım ve operasyon, destek ve insan gücü maliyetleride pilot tesisin maliyetine etki eden değerlerdir.

Sabit sermaye harcamalarının en önemli kalemlerinden birisi uygulamanın çevresel etkilerini gidermek için kurulacak restorasyon tesisinin maliyetidir. Restorasyon maliyeti Ekstraksiyonda kullanılan çözücüye ve kapasiteye bağımlı bir harcama kalemidir. Örneğin çevresel etkisi

minimum olan sodyum sistemi için bu operasyon, amonyumun yarısına yakın bir sürede gerçekleştirilebileceğinden maliyetide düşmektedir.

Mühendislik ve proje danışmanlığı olarak belirlenen harcama kalemi ise projenin tasarım ve inşaatı ile ilgili bir ayrıntı maliyettir. Projenin boyutuna bağlı bir değerdir. Bu kısımda ayrıca 7 seneyi aşan projelerde hareketli ekipman yenilenmesi gerektiğinden ertelenmiş sermayede hesaplanmaktadır. Ancak bu değer diğer operasyon türlerine karşı yerinde ekstraksiyonda oldukça azdır.

6.2.5. İşletme Maliyet Analizi

Dördüncü alt program olan işletme maliyetleri analizinde işletme süresine bağlı olarak yıllık nakit harcamaları belirlenmektedir. Bu harcama kalemleri her yıl için Eklerdeki V. tablolarda görülmektedir. Nakit olmayan harcamalar olan amortisman ve tüketimler nakit akımı hesaplanmasında göz önüne alınır. Söz konusu maliyetler aşağıdaki yöntemlere göre belirlenir.

Bu alt programın hesapladığı ilk işletme kalemi kuyu alanı yenileme maliyetlerinin yıllık yükleridir. Bu değer ikinci alt programın verileriyle hesaplanmaktadır. Programda öncelikle her işletme yılında devreye giren kuyu alanlarının sayıları belirlendikten sonra, incelenen yılki maliyet yükleri tespit edilmektedir.

İkinci olarak iş gücü maliyeti hesaplanmaktadır. Bu değer ücretli ve maaşlı insan gücünün fonksiyondur. Ayrıca tesisin boyutuna da bağlıdır. Mevcut tesislerde çalışan personel sayısı yardımıyla ücretli iş gücü ihtiyacı belirlenir. Maaşlı personel sayısı 600 GPM'in altındaki tesisler için 7, bunun üstündekiler için 18 olarak alınır. Türkiye genelinde uygulanan ücret politikasına bağlı olarak bu hesaplamalarda ortalama ücret yıllık 4000 \$, maaş ise 6000 \$ olarak kabul edilmiştir.

Yerinde uranyum ekstraksiyon tesislerinin kullandığı başlıca kimyasal maddeler, asidik veya alkali çözücüler, oksitleyiciler ve iyon değiştirici reçinelerdir. Bu kimyasal maddelerin teknolojik çalışmalarda belirlenen tüketimlere ve kimyasal maddelerin piyasa fiyatlarına bağlı olarak belirlenir.

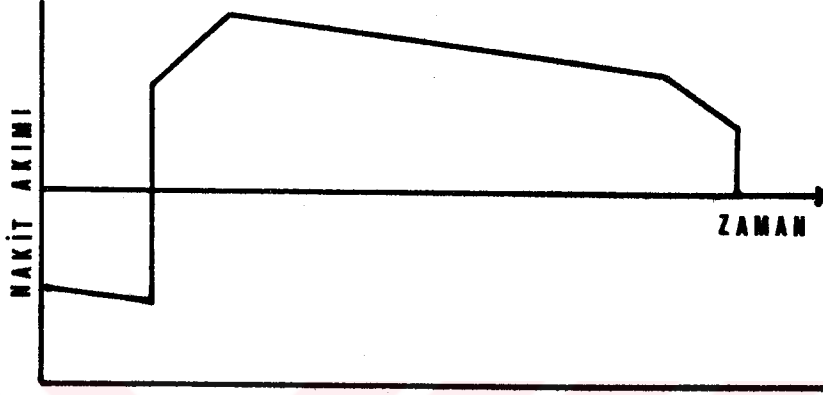
İşletmenin maliyetine etki eden diğer bir harcama enerji maliyetidir. Tesislerde mevcut proses ekipmanları, restorasyon sistemleri, kuyu bölgelerindeki pompalar en yaygın enerji kullanan alanlardır. En fazla üretim kuyusuna sahip batarya esas alınarak pompaların ihtiyaçları belirlenir. Mevcut uygulamalara bağlı olarak birim elektrik maliyeti Türkiye'de geçerli değerlerden .05 \$/kWh olarak alınmıştır.

Bir başka işletme maliyet kaleminde bakım işletme, destek ve sigorta maliyetidir. Amerikadaki uygulamalar esas alınarak sabit sermaye maliyetinin 0.046'sı olarak kabul edilir. Her yıl tesislerde ekstraksiyon ve restorasyon maksadıyla büyük miktarda suya ihtiyaç duyulur ve bu gereksinim tesisin boyutuna, çözücüye ve kaynağın uzaklığına bağlıdır. Son işletme maliyeti ise genel idare giderleridir. Bu giderler genel danışmanlık desteği, kiralama, seyahat giderleri gibi çeşitli işletme giderlerini karşılamak için gereklidir.

6.2.6. İndirgenmiş Nakit Akımı Analizi

İndirgenmiş nakit akımı analizi, kar ve kayıpları göz önüne alarak birim U_3O_8 üretim maliyetine veya öz sermaye bazlı geri dönüş oranına ulaşmayı amaçlamaktadır. Bu yöntem umut edilen rantabilitenin hesaplamasında kullanılan temel bir kavramdır. Zaman içinde Şekil 6.2 de görüldüğü gibi bir nakit akışı gelişiminden faydalanılarak istenilen değere ulaşılmaya çalışılır. Şekilden de görüleceği üzere üretim öncesi dönemde yatırım yapıldığından nakit akımı negatif olmakta, üretim başladıktan sonra gelirler

maliyetleri aştığından pozitif bir nakit akımı başlamaktadır. Üretim öncesi ve sonrası nakit akımı; işletmeye giren net değerlerden toplam yıllık sermaye harcamaları çıktıktan sonra elde edilen değerdir.



Şekil 6.2. Nakit Akışının Zamana Göre Değişimi

Nakit akımı analizinde kullanılan maliyetlendirme hesabı iki analiz aşaması ile gerçekleşmektedir. Birinci aşamada önceki analizlerde elde edilen maliyetler indirgenmiş nakit akımında kendileri ile ilgili satırlara yerleştirilir. İkinci aşamada da diğer kalemler kendileri ile ilgili işlem uyarınca hesaplanarak yıllık net nakit akımı belirlenir.

Yıllık net nakit akım değerlerinin ilgili proje yılına ve faiz değerlerine bağlı olarak şimdiki değerleri (present value) hesaplanır. U_0O_0 in birim satış fiyatı şimdiki değer toplamalarını sıfıra ulaştıracak biçimde belirlenmeye çalışır. Yöntemin dayandığı şimdiki değer metodu nakit akımlarının zaman içindeki dağılım farklarını göz önüne almaktadır. Zira paranın zaman içerisindeki değeri, faiz oranına, yatırılan para tutarına ve yatırımın yapıldığı zaman süresine bağlıdır [96,100-103]. Eğer bir yatırımın faizi hemen ödenmeyecekse, bir sonraki zaman biriminde bu faizinde ayrıca bir faiz getireceği düşünülür. Bu düşüncenin sonucu bileşik faiz kavramı olmaktadır.

Bileşik faiz anlayışı ile verim oranı bilindiğinde, bir yatırımın şimdiki değeri ile gelecekte herhangi bir zamandaki nakit akımı arasında bir bağıntı kurulabilmektedir. Bu çalışmada verim oranı Amerikan doları temelinde hesaplandığından buna bağlı olarak % 13 olarak alınmıştır.

İndirgenmiş nakit akımı analiziyle ilgili 36 kalem değer, veya hesaplar eklerdeki indirgenmiş nakit akımı (INA) özet tablolarında görülmektedir. Bu tablo kapsamlarını hesaplamada aşağıdaki kabuller yapılmıştır :

- İncelemesi yapılan projede, yatırım teşvik kanun ve yönetmeliklerden maksimum düzeyde faydalanıldığı kabul edilmektedir.

- Vergilendirme en son çıkan vergi kanunları çerçevesinde yapılır. Kurumlar vergisi, katma değer vergisi gibi kanunların projeye yüklediği yükler programca değerlendirilmektedir.

- İndirgenmiş nakit akımı hesaplamasında kullanılan değerler sabit maliyet veya statik maliyet koşullarına uygun olarak 1985 yılı doları esas alınarak hesaplanmıştır.

- Yatırım finansmanında borçlanmaya, ilgili "Yatırım Teşvik Tebliği" şartlarına uygun olarak, asgari özkaynak oranlarına bağlı bir imkan sağlanmıştır.

- Geri dönüş hızı (verim oranı) için şimdiki değer sadece öz sermaye üzerine uygulanmıştır.

Yukarıda belirtildiği gibi, birim U30_e fiyatı veya öz sermaye esaslı verim oranı üzerinden indirgenmiş nakit akımı uygulama imkanı vardır. Çözüm bunlardan birinin bilinmesi ile diğerinin tespitini esas alarak sağlamaktır.

Nakit akımında yıllık üretime ve incelenen satış fiyatına bağlı olarak öncelikle yıllık satış geliri belirlenmektedir. Bir önceki kısımdan yıllık işletme maliyetleri kendileri ile ilgili yıllara taşınır ve gelir yardımıyla gros kar bulunur. Gros kardan nakit akımından belirlenen diğer maliyetler çıkartılır ve vergi öncesi net gelir elde edilir. Vergi öncesi net gelire ulaşılırken hesaplanan ilk nakit olmayan indirim kalemi amortismanıdır.

Muhasebe teorisine bağılı olarak işletmeden ilk yatırım için çıkan para amortismanına tabi bir varlık olarak işleme alınır [104]. Bu modelde Türk vergi usul kanununca önerilen azalan bakiyeler yöntemi ile sabit yüzdeli basit amortisman yöntemlerinden ikincisi kullanılmıştır [105]. Etibank tarafından Mazıdağ fosfatlarının değerlendirilmesi için gerçekleştirilen fizibilite etüdünde esas olarak alınan oranlardan burada da faydalanılmıştır [106]. Vergi kanunları tüm miktarı amorti etmeye imkan tanıdığından bu durum hesaplamalarda dikkate alınmıştır.

Bir başka nakit akımı kalemi olan kredi faizleri üretim öncesi gerek duyulan kredi miktarının anüiti ödemeleri olarak belirlenir. Yatırımların teşviki ile ilgili tebliğin yatırım finansmanıya bağıntılı 7. maddesinde kalkınmada öncelikli yörelerde yapılacak yatırımlarda önerilen asgari öz kaynak oranı olan % 30 değeri burada dikkate alınmıştır [105]. Bu kademede ayrıca muhtelif harcamalar ve toprak hakkı ödemeleri içinde kalemler ayrılmış ancak bunların bu uygulamada tasarruf edileceği düşünülmüştür.

Vergi öncesi net gelirler belirlendikten sonra yine Türk Vergi Kanunlarının Yatırımları Teşviki ile ilgili tebliği esas alınarak yatırım indirimi ve önceki yıllardan doğan zarardan vergi kayıpları belirlenir. Yatırım indirimleri ve önceki yıllardan gelen vergi kayıpları dikkate alındıktan sonra kalan gelir kurumlar vergisine tabi tutulurken yatırım indirimi ile tasarruf edilen gelire gelir vergisi uygulanır. Ayrıca yine yatırım indirimi ile tasarruf edilen gelirden kanuni sorumluluklar ve ihtiyatlar ayrılır. Kanunlarımıza göre kurumlar vergisi vergilendirmeye esas olan gelirin % 46'sı, yatırım indirimiyle tasarruf edilen gelirin gelir vergisi % 25, kanuni sorumluluklar yükü % 3.7 ve kanuni ihtiyatlar % 5 dir.

Nakit akımının son aşaması şimdiki değere ulaşılabilmesi için gerekli hesaplamalara ayrılmıştır. Burada ilkin vergi indirimleri ve vergilendirme için tasarruf edilen nakit olmayan harcamalar tekrar göz önüne alınır. Her

yıla düşen ödenecek ana kredi miktarları belirlenir ve işletmelerden net nakit girişleri hesaplanır. Daha sonra proje hazırlama süresince sabit sermaye kalemlerinin üretim öncesi döneme dağılımı gerçekleştirilir. Birinci işletme yılı için tahakkuk eden faiz dikkate alınır. İşletme sermayesinde hesaba katıldıktan sonra yıllık sermaye harcaması ve sermaye ile kredilerden temin edilen miktarlar belirlenir.

En son kalemden ise yıllık net nakit akımı hesaplanmaktadır. Zira şimdiki değere ulaşmada kullanılan büyüklük yıllık net nakit akımıdır ve bu sermaye harcamalarının öz varlık üzerinden temin edilen miktarının işletmelerden net girişi değerinden çıkartılmasıyla bulunur.

6.2.7. Sonuçlar ve Çıkış Tabloları

Eklerde görülen çıkış biçimine uygun olarak önceki kısımlarda yapılan detaylı analiz sonuç tablolarını vermektedir.

6.3. BİLGİSAYAR PAKET PROGRAMININ İŞLERLİĞİNİN İNCELENMESİ

Yukarıdaki bölümlerde detaylarıyla anlatılan bilgisayar programı [95] numaralı kaynakta verilen ABD Wyoming ve Texas eyaletlerine ait beş ayrı yerinde uranyum ekstraksiyon projesine uygulanmıştır. Bu beş proje için elde edilen bilgisayar sonuçları Tablo 6.2'de verilmiştir. Toth ve Annett [95]'in ABD Wyoming ve Teksas eyaletlerine ait aynı ekstraksiyon prosesleri için elde ettikleri maliyet ve analiz sonuçları da Tablo 6.3'de gösterilmektedir. Tablo 6.2 ve 6.3'den görüleceği üzere maliyet analiz sonuçları uyum içindedir. Böylelikle [95] nolu kaynaktan faydalananlar geliştirilen paket programın işlerliği ispatlanmış ve güvenilir bir biçimde kullanılabileceği anlaşılmıştır.

Tablo 6.2. ABD Wyoming ve Texas Uranyum Rezervlerine
Uygulanan Maliyet Analiz Sonuçları.

DENEME	DI "	PW l/dk	KUYU TİPİ	AKIM HIZI l/dk	DERİNLİK "	KALINLIK "	KUYU ALANI SAYISI	TOPLAM SERMAYE \$	DIREK OPERASYON MALİYETİ \$	FİYAT \$
1	15	76	5-nokta	3603	122	3	8	11142050	25880790	33.65
2	12	38	7-nokta	2252	122	"	8	13580270	33277170	36.51
3	15	57	5-nokta	7506	122	"	7	19416760	66008510	29.31
4	18	76	Çisgisel	2403	122	"	29	9543576	39518150	37.99
5	15	76	5-nokta	3603	122+0.01	"	8	11442050	26717428	33.76

Tablo 6.3. Toth ve Annett [95] tarafından aynı prosesler
İçin Uygulanan Maliyet Analiz Sonuçları.

DENEME	DI "	PW l/dk	KUYU TİPİ	AKIM HIZI l/dk	DERİNLİK "	KALINLIK "	KUYU ALANI SAYISI	TOPLAM SERMAYE \$	DIREK OPERASYON MALİYETİ \$	FİYAT \$
1	15	76	5-nokta	3603	122	3	8	11137644	25882848	33.65
2	12	38	7-nokta	2252	122	"	8	13578220	33291376	36.50
3	15	57	5-nokta	7506	122	"	7	19416800	66053590	29.31
4	18	76	Çisgisel	2403	122	"	29	9539091	39541232	38.01
5	15	76	5-nokta	3603	122+0.01	"	8	11137644	26165040	33.80

6.4. BİLGİSAYAR PAKET PROGRAMINDA TÜRKİYEYE YÖNELİK UYARLAMALAR

Programın ABD Wyoming ve Texas eyaletlerine ait sonuçlara uygunluğu sağlandıktan sonra, bilgisayar programı üzerinde ülkemiz şartlarına uyarlılık için bir takım değişikliklere gidilmiştir. Amerikan standartlarına uygun olarak hazırlanan program ile Türkiye'ye yönelik düzenlemelerin yapıldığı programın çalışma yöntemi yukarıda anlatılanlara uygundur. Yapılan değişiklikler başlangıç için sadece giriş verilerinin değişikliği üzerine olmuş ancak

daha sonra indirgenmiş nakit akışı kısmında Türk kanunları çerçevesinde bir takım değişiklikler yapılmıştır. Bunlar başlıca :

- Yatırımlara tanınan teşvikler,
- Uygulanan vergilendirme yöntemleridir.

Diğer yandan hesaplamalar sonuç programda ülkemizdeki birimler bazında gerçekleştirilmiştir. Ancak tüm fiyatlandırmalar ABD verilerine göre yapıldığından ve Türkiye'deki mevcut hızlı ve belirsiz enflasyon koşullarında Türk parası üzerindeki hesaplamalar uzun vadede güvenilir olmayacağından dolar bazında yapılmıştır.

6.5. YOZGAT-SORGUN-TEMREZLİ BÖLGESİNE UYGULAMA

6. Bölümün başında anlatıldığı gibi, Yozgat-Sorgun-Temrezli uranyum yatağı üzerinde gerçekleştirilen fiziksel çalışmalar rezervin yerinde değerlendirme yöntemiyle ekonomik olarak işlenmesine karar vermede yetersizdir. Fiziksel ve teknolojik çalışmalarla elde edilen değerlerden faydalanılarak gerçekleştirilecek bir işletme çalışmasında birim U_3O_8 fiyatının ne olabileceğide önceden belirlenmelidir. Bu son incelemenin başlangıçta yapılmaması yüzünden ülkemizde bir çok maden işletmesinde mali problemlerin ortaya çıktığı bilinen bir gerçektir [107]. Bu tür bir problemle karşılaşmamak ve Yozgat-Sorgun-Temrezli'de birim U_3O_8 in maliyetinin ne mertebede olacağını belirlemek maksadıyla önceki bölümlerde anlatılan paket program hazırlanmıştır. İşlerliğide bölüm 6.3 de anlatıldığı gibi gösterilen programın nihai uygulaması bölüm 5 in sonuçları üzerinden gerçekleştirilmiştir. 5. bölümün incelenmesi sonucu Yozgat-Sorgun-Temrezli rezervine hem asidik, hemde alkali ekstraksiyonun uygulanabileceği görüldüğünden, her iki sistem için ayrı ayrı inceleme yapılması gerekli görülmüştür. 5. bölümde anlatılan çalışmalarla elde edilerek bu bölümde kullanılan fiziksel değerler Tablo 6.4'de verilmiştir.

Tablo 6.4. Jeolojik ve Teknolojik Çalışmalar ile Yozgat-Sogrun-Temrezli Uranyum Rezervi İçin Geçerli Bulunan Parametreler.

Rezerv Miktarı	2500 t
Cevher Tenörü	% 0.13
Rezerv Kalınlığı	1.44 m
Cevher Derinliği	100-198 m
Asidik Sistemde Verim	% 75
Alkali Sistemde Verim	% 53
Çözelti Derişimi, Asidik Sistemde	100 ppm
Çözelti Derişimi, Alkali Sistemde	70 ppm
Çözücü, Asidik Sistemde	0.1 M H_2SO_4
Çözücü, Alkali Sistemde	0.085 M Na_2CO_3 0.015 M $NaHCO_3$
Oksitleyici, Asidik Sistemde	0.3 g/l H_2O_2
Oksitleyici, Alkali Sistemde	2.0 g/l H_2O_2
Yıllık Üretim, Asidik Sistemde	187.5 t U_3O_8
Yıllık Üretim, Alkali Sistemde	135.0 t U_3O_8

Bölüm 5.2 de anlatıldığı üzere seçimi gerçekleştirilen asidik sistemle % 100 e varan bir verim elde edilmektedir. Ancak arazi uygulamasında çözelti 3 boyutta hareket halindedir ve bu yüzden bir miktar çözelti üretim kuyusu yerine süpürme alanının dışına kaçmaktadır. Bu durumda belli bir miktar çözeltinin dispersiyon ile kaybedileceği göz önünde tutularak gerçek saha uygulaması için verimin % 75 olarak alınması daha uygun bulunmuştur. Alkali sistemde ise verimin kayıplarda göz önüne alınarak % 53 alınmasına karar verilmiştir. Çözelti derişimleri, bölüm 5.6 da anlatılan kolon çalışmalarının sonuçları gerçek uygulamalar göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Yıllık üretim miktarları da toplam tonaj ve verimler göz önüne alınarak 10 yıllık bir işletme süresi için hesaplanmıştır.

Tablo 6.4 de gösterilen parametreler haricinde, programla gerçekleştirilen ön çalışmalar sonucu, seçilen diğer parametreler Tablo 6.5 de verilmiştir.

Tablo 6.5. Ön Testler ile Seçilen Fiziksel Parametreler.

İşletme Süresi	10 yıl
Ekstraksiyon Tesis Türü	USBM tipi Üstten Besleme
Kuyu Tipi	7-nokta
Beslem/Üretim Kuyu Mesafesi	18.29 m
Üretim Kuyusu Akım Hızı	4.54 m ³ /h
Toplam Kuyular İçinde Gözlem	
Kuyu Oranı	% 10.0
Besleme/Üretim Kuyu Oranı	1.5

Programda kullanılan işletme parametrelerine ait değerler önceki bölümlerde belirtildiği gibi alınmıştır. Seçilen bu parametreler ile programın her iki sistem için ayrı ayrı çalıştırılmayla sonucu elde edilen sonuç değerler Tablo 6.6 da verilmektedir. Paket programın çalıştırılmasıyla elde edilen detaylı analiz sonuçları, alkali ve asidik ekstraksiyon sistemleri için ayrı ayrı Ek A ve Ek B de verilmiştir.

Tablo 6.6 nin incelenmesi sonucu Yozgat-Sorgun-Temrezli rezervine, güncel uranyum fiyatları göz önüne alınarak, asidik sistemin ekonomik olarak uygulanabileceği anlaşılmıştır. Bilindiği üzere dünya uranyum fiyatları içinde bulunduğumuz bu yıllarda lb U₃O₈ için 20 dolar mertebesinde. Asidik sistem için elde edilen değerde bu aralıkta 19.82 dolardır. Gerçi alkali ekstraksiyon için önerilen prosese ait olan 24.68 dolarlık birim fiyatta aşırı bir değer değildir. Ancak alkali için önerilen yıllık üretim miktarıda aside nazaran daha düşüktür. Şekil

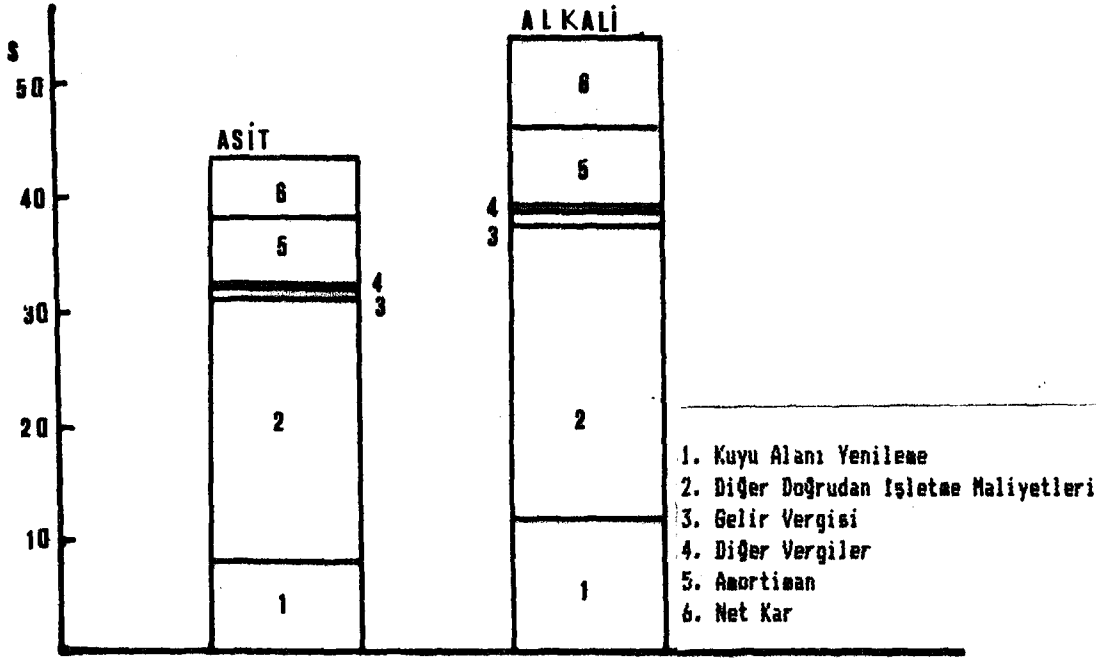
6.3 asit ve alkali sistemler için maliyetin ayrıntılı dağılımını vermektedir. Gerek asid, gerekse alkali sistemler için elde edilen maliyet analiz sonuçları Tablo 6.4 ve 6.3 de verilen kabullere dayanmaktadır. Tablolardaki temel kabullerdeki değişiklikler maliyetleri ne mertebede değişikliğe uğrayacağı bilinmelidir. Bu yüzden programda prosese ait önemli parametrelerde meydana gelebilecek değişikliklerin maliyet sonuçlarına etkisini değerlendirmek için duyarlılık analizinin yapılması faydalıdır.

Tablo 6.6. Asidik ve Alkali Ekstraksiyon Sistemleri İçin
Özet Maliyet Analiz Sonuçları.

	Alkali	Asidik
Satış Fiyatı (\$/kg U_3O_8)	54.48	43.82
Her Kuyu Alanının Çalışma Süresi (gün)	268	266
Gerekli Kuyu Alanı Sayısı	13	13
Her Kuyu Alanındaki Batarya Sayısı	51	49
Kuyu Bölgesi Akım Hızı (m^3/h)	230	224
Toplam Sermaye (Dolar)	10853430	10845380
Toplam Doğrudan İşletme Maliyeti (Dolar)	55355230	63857390

6.6. DUYARLILIK ANALİZİ

Bir maden rezervinin ekonomik olarak değerlendirilip değerlendirilemeyeceğine sadece ürünün bilinen son fiyatına bakarak karar vermek son derece hatalıdır. Zira, mevcut pazarda yeni bir kapasite artımı meydana geleceğinden arz-talep dengesinde bir değişiklik olacaktır. Ayrıca, aynı ürün konusunda faaliyet gösteren diğer kuruluşların fiyat oluşumuna etkileri mutlaka tahmin edilmelidir. Son yıllarda ekonomi alanında elde edilen tecrübeler ışığında kartelleşmiş ürünlerin fiyat stabilitesinin gerçekçi olmadığı anlaşılmıştır. Fiyat, bu kuruluşların isteklerine göre değiştirilebilmektedir. Ayrıca tonajı ve tenörü



Şekil 6.3. Asid ve Alkali Sistemlerde Maliyetlerin Ayrıntılı Analizi.

yüksek bir rezervin bulunması ve işlenen ürünün piyasaya sürülmesi birçok madencilik şirketinin tesislerini kapamasına yol açabilmektedir. Bu durumla ilgili birçok örnek dünya çapında çok çeşitli alanda görülmektedir. Nitekim uranyum piyasasının içinde bulunduğu durum buna örnektir. Avustralya ve özellikle Kanada'da son yıllarda bulunan zengin rezervler etkilerini başta A.B.D. olmak üzere birçok yerde göstermiştir. Dolayısıyla üzerinde çalıştığımız bölge için bir karara varırken U_3O_8 fiyatlarının tahmininde özel bir dikkate gerek vardır.

Özetle yukarıda belirtilenlerin tümü göz önüne alındığında, prosese ve cevher bölgesine ait önemli parametrelerin rantabiliteye etkileri incelenmelidir. Buda verimlilik hesabına giren bir değişkendeki belirli bir değişikliğin verime etkisini ölçmede kullanılan duyarlılık analizi ile mümkündür [104]. Bu yolla her hangi bir parametrede, örneğin tenörde meydana gelebilecek % 10'luk bir artış veya azalışın geri dönüş oranı üzerinde veya minimum fiyat üzerindeki etkisini belirleme olanağı elde

edilebilmektedir. Bu şekilde fiyatların en çok duyarlı olduğu değişkenleri saptama olanağı ortaya çıkmakta ve yatırımın karar evresinde bu stratejik değişkenlere özel bir dikkatin harcanması sağlanmaktadır.

Duyarlılık analizinin bize sağladığı bazı yararlı bilgilere rağmen alternatifin belirsizlik derecesi hakkında kesin bilgi vermemesi yöntemin eksik bir yanıdır. Ancak özellikle madencilik sektöründe yapılması gereken bir analiz durumundadır.

Yozgat-Sorgun-Temrezli bölgesine uyarlanarak geliştirilen bu program duyarlılık analizine hızlı intibakı sayesinde belirlenen kritik bazı parametrelere bu analizi yapma imkanı vermektedir. Dolayısıyla Yozgat-Sorgun-Temrezli rezervi üzerine kabul edilen parametrelerle elde edilen sonuçlara bağlı olarak duyarlılık analizi yapılmıştır. Duyarlılık analizinde değerlendirilen parametreler ve bunlarda gerçekleştirilen değişiklikler Tablo 6.7 de gösterilmektedir.

Bu temel değerler düzgün aralıklarda arttırılarak ve azaltılarak teste tabi tutulmuştur. Her hangi bir parametrenin değişken alınması esnasında tüm diğer parametreler sabit tutulmuştur. Bütün parametrelerin aynı anda değiştirilmesi birbirlerine olan etkileri yüzünden mümkün olmamaktadır. Dolayısıyla herhangi bir parametrenin değişiminin duyarlılıktaki etkisi temel olarak (base case) seçilen örnekle bağlantılıdır. Temelin değiştirilmesi halinde maliyetler üzerinde de farklı etkiler ortaya çıkabilmektedir.

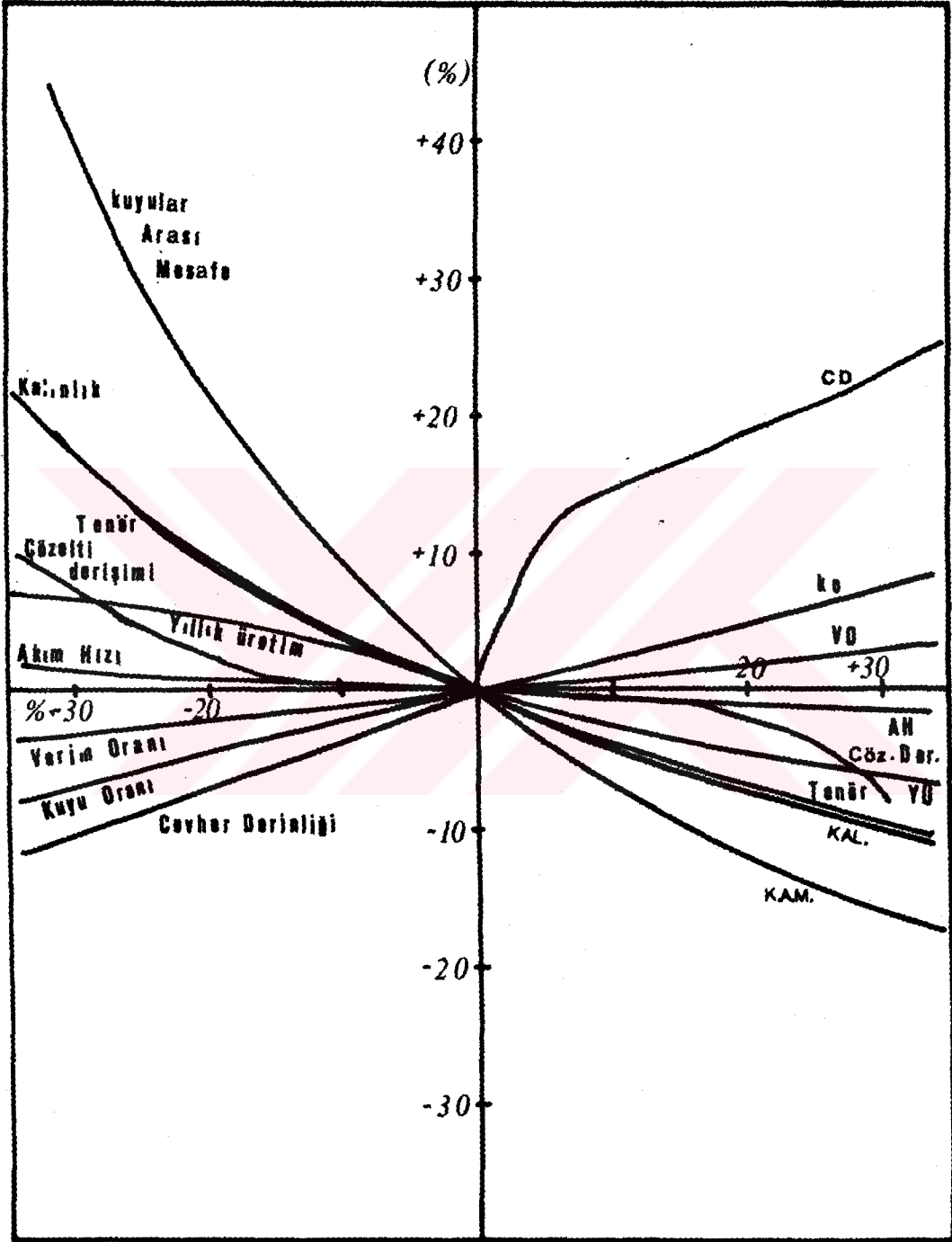
Uygulanan her bir parametrenin duyarlılık analizleri yapılarak elde edilen sonuçlar toplu olarak Şekil 6.7 de gösterilmiştir. Bu grafiklerden görülen önemli nokta cevher derinliğinin; verim oranının ve besleme/Üretim kuyusu oranının dışındaki diğer 7 büyüklüğün negatif eğime sahip olmasıdır. Buda bu parametre değerlerinde gerçekleşecek artışların maliyetlerin aşağıya çekileceğini göstermektedir. Bu üç parametredeki artışlar ise maliyetlerin

artışına yol açacaktır. Grafiklerin incelenmesi sonucu kuyular arası mesafeler, cevher tenörü ve cevher kalınlığının değişimlerinin maliyetlere en büyük etkiyi gösteren parametreler olduğu görülmektedir.

Tablo 6.7. Yozgat-Sorgun-Temrezli Uranyum Cevherinin Yerinde Ekstraksiyon Yönteniyle Değerlendirilmesine Ait Duyarlılık Analizinde İncelenen Parametreler.

İncelenen Parametre							
Tenör (%)	.08	.09	.10	.11	.12	.13	.14
Kuyular Arası Mesafe, m	9.1	10.7	12.2	13.7	18.3	21.4	24.4
Akım Hızı, m ³ /h	1.14	2.27	3.41	4.54	6.81		
Geri Dönüş Hızı, %	7.	10.	13.	16.	19.	22.	
Çözelti Derişimi, ppm	40.	50.	60.	70.	80.	90.	100.
Kuyu Oranı	1.	1.5	2.0	2.5	3.0		
Derinlik, m	100	120	130	140	150	160	170
	180	200					
Kalınlık, m	0.86	1.01	1.15	1.44	1.75	1.87	2.00
Yıllık Üretim, t U ₃ O ₈	94.5	108.	121.5	135.	148.5	162.	175.5

Her bir faktörün maliyet üzerine etki derecelerini belirlemek, bu sayede bir karşılaştırma yapabilmek için her bir parametre değişiminin ve bunun temel birim fiyata göre fiyatının değişimine etkisini inceleyebilmek için değerler yüzdelere dönüştürülmüştür. Tablo 6.8 bu sonuçların uç noktalardaki değişimlerini verirken, aynı bulguların grafik değişimleri Şekil 6.4 de verilmiştir. Gerek grafik ve gerekse tablo değerlerinin incelenmesi maliyetleri etkileyen en önemli parametreleri göstermektedir.



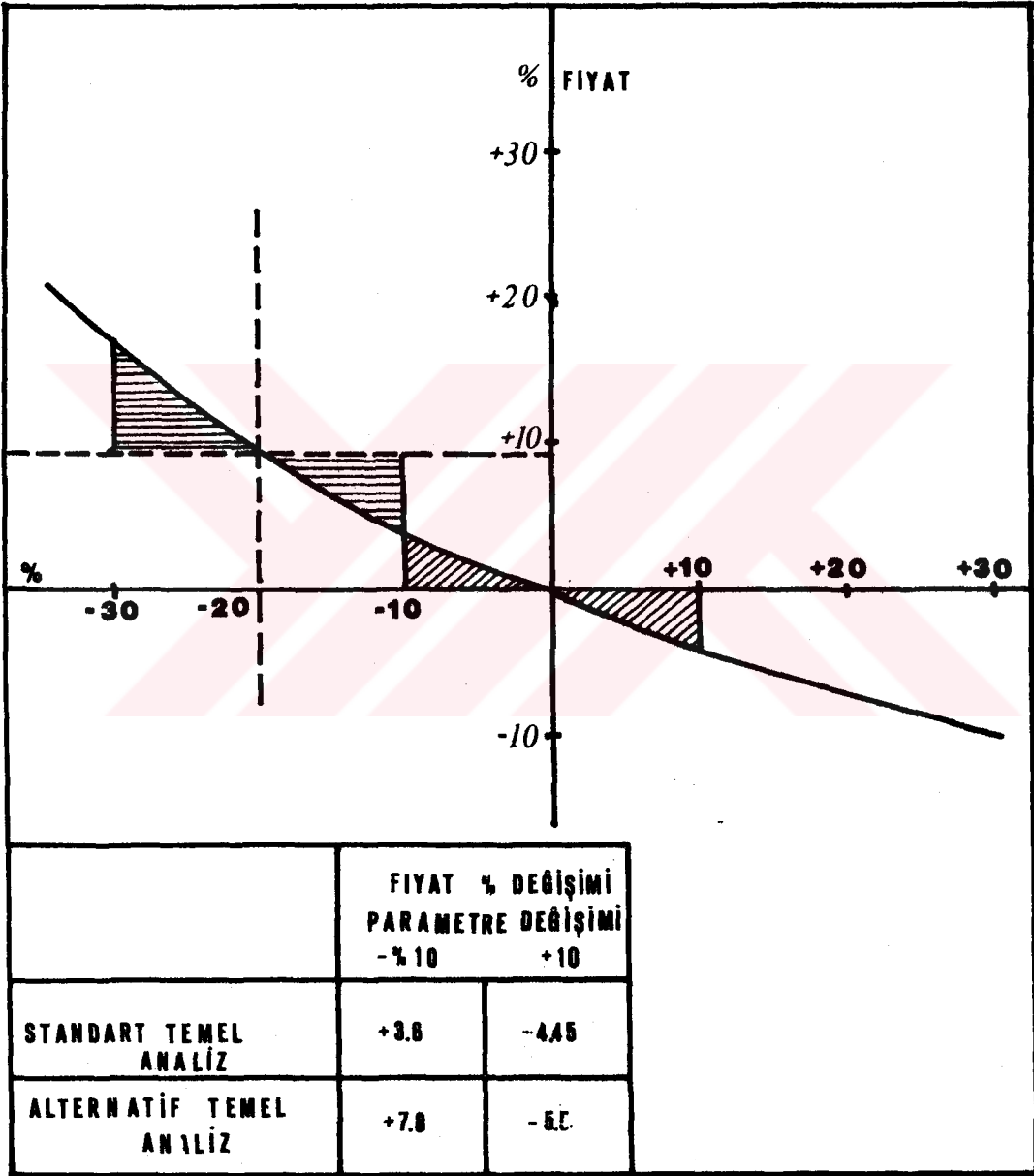
Şekil 6.4. Temel Örnek Maliyetlerindeki Parametre Değişimlerinin Duyarlılık Analizi.

Temel olarak seçilen örnek için uygulanan bu duyarlılık analizi her türlü uygulamaya evrenselleştirilemez, temel örneğin değiştirilmesi durumunda yeniden düzünleme yapılması zorunluluğu vardır. Şekil 6.5 temel örnekte tenörün değişmesi durumundaki duyarlılık analizi sonuçlarını karşılaştırmalı olarak vermektedir. Grafik incelendiğinde ilk temel örnek ve yeni alternatif temel örnek için tenörün $\pm$ % 10 değişiminde birim fiyata etkisinin değiştiğini göstermektedir. İstenirse bu inceleme daha başka değerler ve parametreler içinde uygulanabilir.

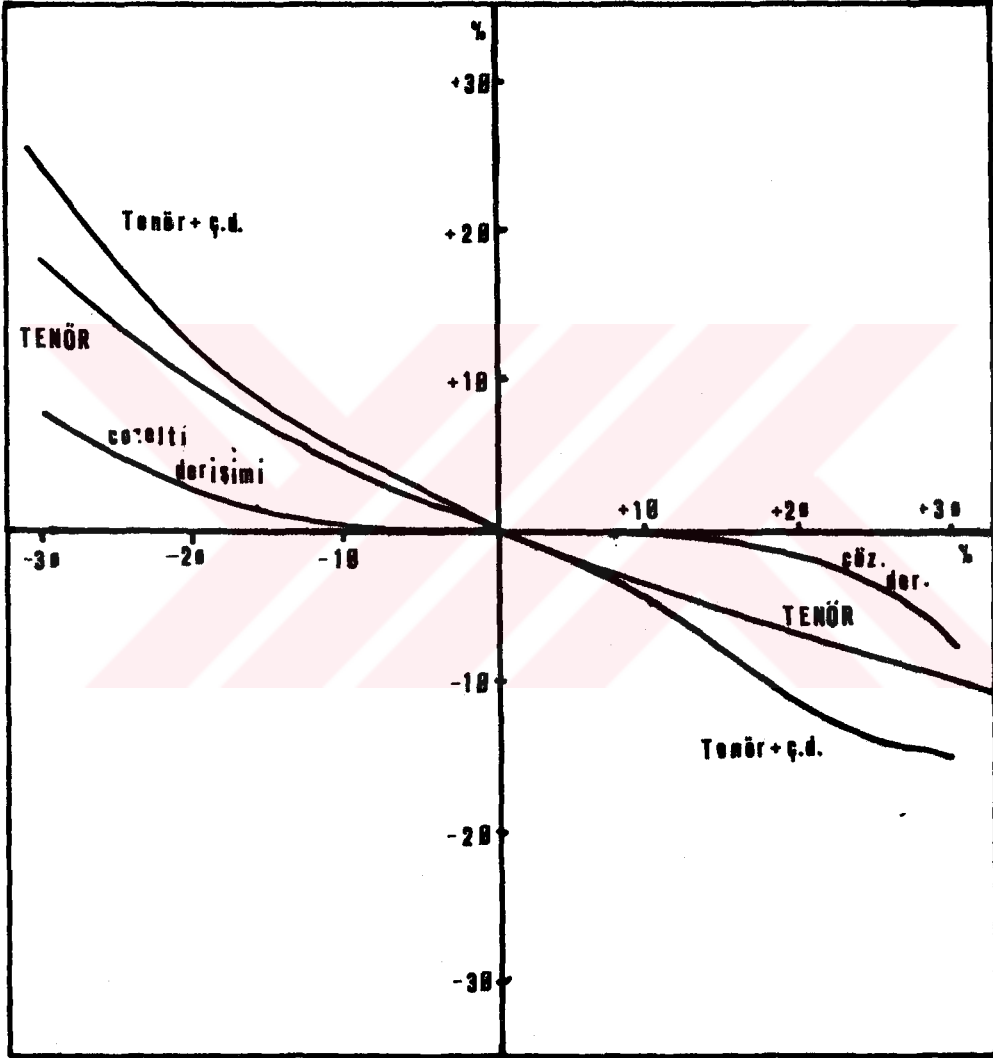
Tablo 6.8. Temel Örneğe Göre Duyarlılık Analiz Sonuçları.

	Parametre Değişimine Göre Üretim Maliyet % Değişimleri	
	% + 30	% - 30
Üretim Seviyesi	- 6.0	+ 6.5
Çözelti Değişimi	- 7.6	+ 7.6
Cevher Derinliği	+23.2	-10.6
Cevher Kalınlığı	- 9.4	+17.3
Cevher Tenörü	-10.0	+16.8
Kuyular Arası Mesafe	-15.8	+40.2
Üretim Kuyusunun Akım Hızı	- 1.2	+ 1.5
Geri Dönüş Hızı	+ 3.0	- 3.1
Kuyu Oranı	+ 7.5	- 7.1

Ayrıca, bireysel parametreler için uygulanan duyarlılık analizi parametre çiftlerine toplamsal olarak uygulanınca duyarlılığın daha hızlı değiştiği gözlenmektedir. Şekil 6.6 cevher tenörü ve çözelti değişiminin duyarlılık analizine birlikte etkilerini göstermektedir. Bu örnekte $\pm$ % 30 luk bireysel değişimlerin toplam etkisi ile aynı andaki değişimlerinin etkisini göstermekte ve ortak



Şekil 6.5. Alternatif Temel Örnek ile Standart Temel
Örneğe Ait Tenör Değişiminin Duyarlılık Analizi



Şekil 6.6.. Cevher Tenörü ve Çözelti Derişiminin
Duyarlılık Analizine Birlikte Etkileri.

değişimde bireyselle nazaran daha önemli bir değişiklik olduğu görülmektedir.

Duyarlılık analizi ile ilgili Şekil ve Tabloların incelenmesi sonucu asidik sistemin Yozgat-Sorgun-Temrezli ye uygulanabileceği görülmektedir. Duyarlılık analizi özellikle cevher derinliği, tenörü ve kuyular arası mesafe değişiminde fiyatın önemli bir değişime uğradığını göstermektedir. Diğer parametrelerdeki bir değişiklik fiyatta önemli bir değişime yol açmamaktadır. MTA Genel Müdürlüğü tarafından Yozgat-Sorgun-Temrezli bölgesinde yapılan çalışmalarda en kritik parametrelerden birisi olan derinlik, en iyi tespit edilen jeolojik parametredir [88,89,90] Bu sebeple cevher yatağının derinliğinde öngörülmeleyen bir değişim söz konusu olmayacaktır. Kuyular arası mesafe ise proses uygulayıcısına bağlı olduğundan bir problem yaratmamaktadır. Önemli bir belirsizlik sadece cevher tenörü için geçerlidir. sonuç olarak cevher tenöründe meydana çıkacak bir belirsizlik haricinde asidik sistemin uygulanmasında önemli bir problem çıkmayacağı analiz sonuçlarına göre tesbit edilmiştir.

BÖLÜM 7. GENEL SONUÇLAR

Yozgat-Sorgun-Temrezli rezervine ait harmanlanmış numune ile laboratuarda gerçekleştirilen çeşitli ekstraksiyon denemeleriyle birlikte bölgeye ait maliyet-duyarlılık analizinin değerlendirilmesi neticesinde elde edilen genel sonuçlar aşağıda belirtilmiştir:

1. Yozgat-Sorgun-Temrezli uranyum rezervine ait MTA tarafından harmanlanmış cevher örneğinin tenörü % 0.133 U_3O_8 dir. Çeşitli kimyasal ve tarama elektron mikroskop (SEM) analizleri yapıyı oluşturan ana elementlerin Si, Al ve Ca olduğunu göstermiştir. X-ışınları analiziyle harmanlanmış cevher örneğinde esas olarak SiO_2 , Al_2O_3 ve $CaCO_3$ minerallerinin bulunduğu, daha az oranlarda potasyum alimüna silikat gibi kompleks silikatlarında mevcut olduğu görülmüştür. Bu ve SEM analizi sonuçları birbirlerini desteklemektedirler.

2. Yozgat-Sorgun-Temrezli uranyum örneğiyle gerçekleştirilen çalkalayıcı ve otoklav denemeleri, asidik (H_2SO_4) ekstraksiyona oksitleyici ilavesinin gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. 0.1 M HNO_3 asit çözeltisiyle % 73 verime ulaşılırken, oksit içermeyen 0.1 M H_2SO_4 ile % 37 gibi düşük verim elde edilmektedir. 0.1 M H_2SO_4 çözeltisine MnO_2 veya H_2O_2 gibi oksitleyicilerin ilavesi ile % 95'in üzerinde bir ekstraksiyon verimi elde etmek mümkündür. Su ile seyreltilebilmesi, emniyetli bir sistem olması ve herhangi bir yan tesiri olmaması açısından hidrojen peroksit düşük kullanım oranı ile yerinde uranyum ekstraksiyonu prosesi için uygun bir oksitleyicidir.

3. 0.1 M H_2SO_4 - 0.3 g/l H_2O_2 sisteminin yanısıra % 0.8 lik Caro asidi (H_2SO_5) Yozgat-Sorgun-Temrezli uranyum örneği için uygun bir çözücü sistemi olup her iki çözücü sistemiyle % 95'in üstünde bir ekstraksiyon verimi elde

edilmektedir.

4. Yapılan hesaplamalar Yozgat-Sorgun-Temrezli cevher örneği için asit harcama miktarının H_2SO_4 çözücü sistemi için 43.5 kg asit/ton cevher, Caro asidi için 70.3 kg asit/ton cevher olduğunu göstermiştir.

5. Sodyum, potasyum ve amonyum karbonat-bikarbonat çözeltileriyle yürütülen ekstraksiyon denemelerinde Temrezli cevheri için en etkin alkali çözücü 0.085 M Na_2CO_3 -0.015 M $NaHCO_3$ - 2 g/l H_2O_2 sistemi olarak tespit edilmiştir. Bu çözücü sistemiyle oda sıcaklığında % 56'lık ekstraksiyon verimi elde edilirken, sıcaklığın artması ekstraksiyon verimini arttırmaktadır. 60 °C da sodyum karbonat çözeltisiyle % 83 verime ulaşılabilir.

6. Alkali sistem ile yapılan hesaplamalar Yozgat-Sorgun-Temrezli çözeltisiyle yürütülen ekstraksiyon işleminde % 56'lık verim için alkali tüketimleri ton cevher başına 15.9 kg sodyum karbonat ve 12.6 kg sodyum bikarbonat olarak bulunmuştur. Aynı koşullar için kütle dengesi % 98.5 mertebesinde sağlanmıştır.

7. Otoklavla çeşitli sıcaklıklarda alkali ile gerçekleştirilen denemeler uranyumun çözünme hızının yüzey alanıyla doğru orantılı olduğunu göstermiştir. Aktivasyon enerjileri ise oksitsiz koşullarda 21.3 kJ/mol, oksitli koşullarda 50 °C'ın altında 29.06 kJ/mol, 50-70 °C arasında ise 9.8 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Tüm bu verilerden uranyumun çözünme hızının difüzyon kontrollü olduğu görülmüştür. Yüksek sıcaklıklarda hidrojen peroksitin hızlı ve katalitik dekompozisyonunun aktivasyon enerjisinin düşmesine yol açtığı anlaşılmıştır.

8. Yerinde ekstraksiyon yönteminin uygulanabilirliğinin laboratuvar düzeyinde araştırılmasında en geçerli yol olan kolon denemelerinde, hem sülfürik asit hemde sodyum karbonat bikarbonat çözücülerıyla çalkalayıcı ve otoklav denemelerinde olduğu gibi olumlu sonuçlar alınmıştır.

9. Asidik ve alkali ekstraksiyon çözücülerıyla gerçekleştirilen denemelerde çalkalayıcı ve kolon sonuç verimlerinin birbirleriyle uyduğu görülmüştür. Kolon ekstraksiyon denemeleriyle, çalkalayıcı ve otoklav verimlerine ancak belirli bir gecikme ile ulaşılabilmiştir. bu zaman farkının kolon ekstraksiyon denemelerinde Edi hareketlerinin eksikliğinden kaynaklandığı anlaşılmaktadır.

10. Kolon ekstraksiyon denemelerinin modellenmesi için bir süreklilik eşitliği geliştirilmiş ve bu eşitliğin analitik çözümü gerçekleştirilmiştir. Belirli koşullarla çözümü gerçekleştirilen denklem boşluk hacmi sayısına bağlı olarak düzenlenmiştir. Çeşitli denemelerde 100 g uranyum cevheri için 0.1 M H_2SO_4 -0.3 g/l H_2O_2 içeren asidik sistem için maksimum çözünebilen uranyum konsantrasyonu 315 ppm olarak tespit edilmiştir. Yine bu denemelerde k-/u oranının sabit olduğu bu yüzden de çözünmenin kütle iletim kontrollü olduğu anlaşılmıştır. Bu şartlar altında analitik çözüm sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırılmış ve uyumluluk tespit edilmiştir. Tespit edilen farkların ise ihmal edilen dispersiyon teriminden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

11. Yerinde uranyum ekstraksiyon yönteminin Yozgat-Sorgun-Temrezli uranyum cevherine uygulanabilirliğinin araştırılmasında çözümlenmesi gereken bir sorun maliyet ve duyarlılık analizidir. Geliştirilen bir paket program ile bu soruna bir çözüm getirilmiştir.

12. Laboratuarda gerçekleştirilen denemelerden Yozgat-Sorgun-Temrezli cevheri için en iyi çözücülerin sülfürik asid ve sodyum sistemleri olduğu gösterilmişti. Bu iki çözücü sistemine ait parametrelerle çalıştırılan paket programla; asidik ekstraksiyon uygulamasında 1 kg sarı pasta maliyetinin 43.82 Amerikan doları, alkali ekstraksiyon maliyetinin ise 54.48 dolar olacağı tesbit edilmiştir.

13. 1980 yılından itibaren dalgalanmaya başlayan dünya uranyum fiyatları, son iki senede en düşük fiyata inmiş bulunmaktadır. Halen mevcut uranyum fiyatları ve

IAEA prospeksiyonları göz önüne alındığında Yozgat-Sorgun-Temrezli uranyum bölgesinin asid sistem kullanılarak yerinde ekstraksiyon prosesiyle ekonomik olarak değerlendirilebileceği anlaşılmıştır. Alkali ekstraksiyon sistem için elde edilen maliyetler, mevcut dünya uranyum fiyatlarının % 15 kadar üstünde çıkmıştır.

14. Duyarlılık analizi; sarı pasta maliyetine en fazla cevher derinliğinin, cevher tenörünün ve kuyular arası mesafe değişimlerinin etkili olduğunu göstermiştir. Bu parametrelerden sonra cevher kalınlığı da fiyatlara etken bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır. Üretim miktarı, çözelti derişimi, akım hızı, kuyu oranları ve geri dönüş hızındaki değişimlerin maliyetlere etkin olmadığı gözlenmiştir.

15. Laboratuvar şartlarında yürütülen çalkalayıcı, otoklav, kolon ekstraksiyon denemeleri ve bilgisayar paket programıyla yapılan maliyet analizleri, Yozgat-Sorgun-Temrezli bölgesine yerinde uranyum ekstraksiyon prosesinin ekonomik olarak uygulanabileceğini ispatlamaktadır. Ancak bölgeyle ilgili olarak elde edilen sonuçlar ve teknolojik değerlendirmeler bölgeye ait kısıtlı miktardaki cevher örnekleriyle laboratuvar düzeyde alınmış sonuçlardır. Bu sebeple :

a- MTA raporlarında da belirtildiği gibi bölgeyle ilgili hidrolojik testlerin tamamlanması;

b- Bölgeyi tanımlayacak şekilde yeterli miktarlarda cevher karotların çıkartılması;

c- Yerinde ekstraksiyon pilot saha uygulamasından önce yeni numunelerle kolon denemelerinin yürütülmesi uygun olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] GURUZ, K., Türkiye'de Enerji Tüketiminin Geçmişi ve Enerji Kullanım Veriminin Gelecekteki Önemi, Doğa Bilim Dergisi, B, 9, 2, pp.111-127, 1985.
- [2] 1977 Yılı Uzun Vadeli Enerji Hammaddeleri Proje Programları, MTA Genel Direktörlüğü, Ankara, 1977.
- [3] Türkiye'nin Radyoaktif Mineralleri Hakkında Rapor, MTA Genel Direktörlüğü, Ankara, 1982.
- [4] Türkiye'nin Radyoaktif Mineralleri Hakkında Rapor, Arama-Potansiyel ve Teknolojinin Dünyü Bugünü ve Geleceği, MTA Genel Direktörlüğü, Ankara, 1984
- [5] ATABEK, M., Dissolution and Purification Investigation Turkish Uranium Ore Concentrate, M.S. Thesis, ODTU, Ankara, 1980.
- [6] OKUTAN, H., Yerinde Uranyum Ekstraksiyonu Yöntemi Üzerine Deneysel ve Teorik Modelleme Çalışmaları, Doktora Tezi, İTÜ-Fen Bilimleri Enst., İstanbul, 1984.
- [7] ÖNER, G., Aydın Küçükçavdar Uranyum Rezervinin Yerinde Ekstraksiyon Yöntemiyle Değerlendirilmesi - $\text{Na}_2\text{CO}_3\text{-NaHCO}_3$ Çözeltisiyle Uranyum Ekstraksiyonu ve Kimyasal Faktörlerin İncelenmesi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 1984.
- [8] ERDAL, S., Aydın Küçükçavdar Uranyum Rezervinin Yerinde Ekstraksiyon Yöntemiyle Değerlendirilmesi-Asit ve Alkali Ekstraksiyon Sistemleri, İTÜ Fen bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 1984.
- [9] NASUN, G., Yozgat-Şefaatli Uranyum Cevherinin $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3\text{-H}_2\text{O}_2$ Sistemiyle Ekstraksiyonu ve Teknolojik Değerlendirmeler, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 1985.
- [10] ÖNER, G., NASUN, G., ÇATALTAŞ, A.İ., OKUTAN, H., Yerinde Uranyum Ekstraksiyon Prosesi (In Situ Uranium Leaching) ve Türkiye Rezervlerine Uygulanabilirliğinin Araştırılması, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Proje No. 84300801, İstanbul, 1987.

- [11] KATZ, J.T., RABINOWITCH, E., The Chemistry of Uranium Part 1, The Element, its Binary and Related Compounds, Mc Graw-Hill, New York, 1951.
- [12] DU PREEZ, J.G.H., MORRIS, D.C., VAN VUUREN, C.P.J., DERTELL, M., The Chemistry of Uranium. Part XXVI. Alkaline Dissolution of Gold and/or Uranium Dioxide Powders, Hydrometallurgy, 6, pp.147-158, 1980.
- [13] HISKEY, J.B., Kinetics of Uranium Dioxide Dissolution in Ammonium Carbonate, Trans. Inst. Min. Met. (Section C: Mineral Processing and Extractive Metallurgy), 88, pp.C145-C152, 1978.
- [14] PETERS, E., HALPERN, J., Kinetics of the Dissolution of pitchblende, Canadian Min. and Met. Bull., 46(10), pp.639-641, 1953.
- [15] GRANDSTAFF, D.E., A Kinetic Study of the Dissolution of Uraninite, Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists, Vol 71, No.8, pp.1493-1506, Dec., 1976.
- [16] SCOTT, P.D., GLASSER, D., NICOL, M.J., Kinetics of Dissolution of β -Uranium Trioxide in Acid and Carbonate Solutions, J.Chem.Soc., Dalton Trans, 20, pp.1939-1946, 1977.
- [17] DU PREEZ, J.G.H., MORRIS, D.C., VAN VUUREN, C.P.J., The Chemistry of Uranium, Part XXVII. Kinetics of the Dissolution of Uranium Dioxide Powder in a Solution Containing Sodium Carbonate, Sodium Bicarbonate and Potassium Cyanide, Hydrometallurgy, 6, pp.197-201, 1981.
- [18] EARY, L.E., CATHLES, L.M., A Kinetics Model of UO_2 Dissolution in Acid, H_2O_2 Solutions That Includes Uranium Peroxide Hydrate Precipitation, Metallurgical Transactions B, V 14B, pp.325-334, Sept., 1983.
- [19] PEARSON, R.L., WADSWORTH, M.E., A Kinetic Study of Dissolution of UO_2 In Carbonate Solution, Trans.Met.Soc. AIME, pp.294-300, 1958.
- [20] SCHORTMANN, W.E., DE SESA, M.A., Kinetics of the Dissolution of Uranium Dioxide in Carbonate Bicarbonate Solutions, Proceeding of the Second United Nations International Conference On the Peaceful Uses of Atomic Energy, held in Geneva september 1-13, 1958.
- [21] NICOL, N.J., NEEDS, C.R.S., FINKELSTEIN, N.P., Electrochemical Model For The Leaching of

Uranium Dioxide: 1-Acid Media, Leaching and Reduction in Hydrometallurgy, A.R. Burkin ed., London, 1975.

- [22] NEEDS, C.R.S., NICOL, M.J., FINKELSTEIN, N.P., Electrochemical Model For the Leaching of Uranium Dioxide; 2-Alkaline Carbonate Media, Leaching and Reduction in Hydrometallurgy, A.R. Burkin ed., London, 1975.
- [23] HISKEY, J.B., Hydrogen Peroxide Leaching of Uranium in Carbonate Solution, Trans. Instn. Min. Metall, 89, pp.C145-C152, Dec. 1980.
- [24] FORWARD, F.A., HALPERN, J., Description of the Pressure Leach Process and its Application to Pitchblende Ore, Canadian Min. and Met. Bull, 46(10), pp.634-637, 1953.
- [25] FORWARD, F.A., HALPERN, J., Developments in the Carbonate Processing of Uranium Ores, Journal of Metals, Transaction AIME, pp.1408-1414, Dec. 1954.
- [26] MATTUS, A.J., TORMA, Jr.A.E., A Comparison of Carbonate Leaching of a Low-Grade Uranium Ore at Atmospheric and Increased Pressures, Hydrometallurgy, 5, pp.179-190, 1980.
- [27] CHUTINARA, D., TORMA, A.E., SINGH, A.K., Kinetics of Sulfuric Acid Leaching of a Uranium Ore With Oxone, Metallwissenschaft und Technik, 38, 2, pp.121-126, Febr. 1984.
- [28] ELIGWE, C.A., TORMA, A.E., DEVRIES, F.W., Leaching of Uranium Ores With The H_2O_2 - Na_2SO_4 - H_2SO_4 System Hydrometallurgy, 9, pp.83-95, 1982.
- [29] DU PREEZ, J.G.H., MORRIS, D.C., VAN VUUREN, C.P.J., HENDRIKS, P., DERTELL, M., The Chemistry of Uranium. Part XXVIII. The Development of a Combined Gold And Uranium Leach of Randfontein Ore, Hydrometallurgy, 6, pp.203-218, 1981.
- [30] HUANG, W.H., PICKETT, K., Factors Controlling In-Situ Leaching of Uranium From Sandstone And Lignite Deposits in South Texas, Presented at the Uranium Mining Technology Update'78 Conference Reno, November 13-17, 1979.
- [31] MERITT, R.C., The Extractive Metallurgy of Uranium, CSRMT Publisher, 1971.
- [32] CARLSON, R.H., NORRIS, R.D., SCHELLINGER, R., The Role of Oxidizing Agent In The Chemistry Of In

Situ Uranium Leaching, Presented at the 55th Annual Fall Technical Conference and Exhibition of the Society of Petroleum Engineers of AIME, held in Dallas, September 21-24, 1980.

- [33] RING, R.J., VAUTIER, F.E., LUCAS, G., FULTON, E., WATERS, D.J., Performance of Caro's Acid as an Oxidant at the Nabarlek Mill, International Atomic Energy Agency, Technical Committee Meeting Advances in Uranium Ore Processing and Recovery From Non-Conventional Resources Resources, IAEA-TC-491/28, Vienna, 1983.
- [34] Ion Exchange Technology In The Nuclear Fuel Cycle, International Atomic Energy Agency, IAEA-TEC Doc-365-Vienna, 1986.
- [35] BALL, D.L., EDWARDS, J.O., The kinetics and Mechanism of the Decomposition of Caro's Acid I, pp.1125-1129, 1956.
- [36] MATTUS, A.J., MAGID, S.B., LOPEZ, M.F., MOBBS, D.B., A Comparative Study of the Uses of Caro's Acid (Peroxymonosulphuric Acid) and Hydrogen Peroxide to Oxidize Vanadium Prior to Solvent Extraction, CIM Bulletin, Vol 76, No.854, pp.102-109, June 1983.
- [37] ROJAS, J.L., A Brief Analysis of the Supply and Demand of Uranium, Technical Committee Meeting on In-Situ Leaching of Uranium Technology Environmental and Economical Aspects, IAEA Headquarters, Vienna, 3-5 November 1987.
- [38] Uranium Extraction Technology, Current Practice and New Developments in Ore Processing, OECD, Paris, 1983.
- [39] Uranium, Resources, Production and Demand, OECD, Paris, 1979.
- [40] Significance of Mineralogy in the Development of Flowsheets for Processing Uranium Ores, International Atomic Energy Agency, Technical Reports Series no.196, Vienna, 1980.
- [41] MOURET, P., POTTIER, P., SOUDAN, P., LE BRIS, J., Application of Alkaline Leaching to the Extraction of Uranium From Shale of the Vosges Proceeding of the Second United Nations International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Held in Geneva, 1958.
- [42] TORMA, A.E., GUNDILER, I.H., KIRBY, D.J., SANTANA, J.J., YEN, S.-Y., Hydrochloric Acid Leaching

of a Low-Grade New Mexico Uranium Ore,
Metallwissenschaft und Technik, Vol.37,
pp.148-152, Feb.1983.

- [43] DAVIS, F.T., HANSON, G.E., Pretreatment of Uranium Ores, Proceeding of the Second United Nations International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva, September 1958.
- [44] PASCAL, P., et al., Nouveau Traité de Chimie Mineral Tome XV, Masson et CIE, Paris, pp:8-9, 1967.
- [45] ALTER, I., FOA, E., HADARI, Z., PERI, G., and TROCKER, J., Selective Leaching of Uranium From Phosphate Rock by Dilute Mineral Acids, Proceedings of the Second United Nations International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, Geneva, September 1-13, 1958.
- [46] BHAPPU, R.B., In Situ Extraction and Leaching Technology, Economics of Mineral Engineering, Mining Journal Books Limited, London, 1976.
- [47] The Nuclear Fuel Cycle Information System, International Atomic Energy Agency, IAEA-TECDOC-408, Vienna, 1987.
- [48] SKOROVAROV, J.I., SADYKOV, R.H., NOSOV, V.D., In-Situ Leaching of Uranium in the USSR, Technical Committee Meeting on In-Situ Leaching of Uranium Technology Environmental and Economical Aspects, IAEA Headquarters, Vienna, 3-5 November 1987.
- [49] FUXIAN, F., HAIFENG, W., Status and Prospects of China's Uranium Mining, IAEA-TC-573/7, Montepellier, September, 1987.
- [50] BHAPPU, R.B., FLETCHER, J.B., Recent Advances in Mining of Lower Grade Ores, Centre for National resources, Energy and Transport, United Nations, New York, 1976.
- [51] Recent Advances in Mining and Processing of Low Grade and Submarinal Mineral Deposits, Centre for Natural Resources, Energy and Transport, United Nations, New York, 1976.
- [52] KUBO, S., Application of In Situ Leaching to a Low Grade Gold Deposit, MS Thesis, University of Wyoming, Laramie, August 1986.
- [53] PUGLIESE, J.M., LARSON, W.C., Uranium In Situ Mining Research by the U.S.Bureau of Mines - A Review Technical Committee Meeting on In-Situ

Leaching of Uranium Technology Environmental and Economical Aspects, IAEA Headquarters, Vienna, 3-5 November 1987.

- [54] DURLER, D., BISHOP, A.L., In-Situ Uranium Leach Mining: Considerations For Monitor Well Systems, SPE 9505, Presented at the 55th, Annual Fall Tech. Conference and Exhibition of SPE-AIME, Held in Dallas Texas, september 21-24, 1980.
- [55] ANNAMALAI, V., MCGARVEY, F.X., Operating Experience in the Recovery of Uranium at the Pawnee and Zamzow Sites, SPE 9507, presented at the 55th Annual Fall Tech. Conference and Exhibition of SPE-AIME, Held in Dallas, September 21-24, 1980.
- [56] HILL, A.D., WALSH, M.P., BRELAND, W.M., SILBERBEREG, I.H., HUMINICK, M.J., and SCHECTER, R.S., Restoration of Uranium In Situ Leaching Sites, SPE 7534, Presented at the 53rd Annual Fall Technical Conference and Exhibition of SPE-AIME, Houston, October, 1-3, 1978.
- [57] GRANT, D.C., BURGMAN, H.A., SEIDEL, D.C., Restoration of In Situ Leached Uranium Ores (A Laboratory Study of Restoration Reagents), Technical Committee Meeting on In-Situ Leaching of Uranium Technology Environmental and Economical Aspects, IAEA Headquarters, Vienna, 3-5 November 1987.
- [58] JOHNSON, D., HUMENICK, M.J., Nitrification and In Situ Uranium Solution Mining, Society of Petroleum Engineers Journal, pp 415-422, October, 1980.
- [59] PAUL, J.M., JOHNSON, W.F., FLETCHER, A., VENUTO, P.B. In-Situ Leaching of South Texas Uranium Ores, Part-2: Oxidative Removal of Adsorbed Ammonium Ions With Sodium Hypochlorite, Society of Petroleum Engineers Journal, pp: 387-396, Vol 23, No: 2, April, 1983.
- [60] SCHMIDT, MR., C., Ground Water Restoration And Stabilization at the Ruth-Is1 Test Site in Wyoming, USA, Technical Committee Meeting on In-Situ Leaching of Uranium Technology Environmental and Economical Aspects, IAEA Headquarters, Vienna, 3-5 November 1987.
- [61] MCKEE, C.R., JACOBSON, R.H., WAY, S.C., HANSON, M.E., CHONG, K., Design Criteria For In Situ Mining of Hard Rock Ore Deposits, Presented at the

2nd SME-SPE International Solution Mining
Symposium, Denver, November 18-21, 1981.

- [62] HUFF, R.V., DAVIDSON, D.H., BAUGHNAN, D., AXEN, S.,
Technology for In Situ Uranium Leaching,
Mining Engineering, Vol 32, pp.163-166, 1980.
- [63] COLEMAN, K.A., STEWART, G.W., New Mexico's First
Uranium In Situ Solution Extraction Project,
Presented at the 55th Annual Fall Technical
Conference and Exhibition of the Society of
Petroleum Engineers of AIME, held in Dallas,
September 21-24, 1980.
- [64] BURGER, J.R., El Mesquite In Situ Leach Plant is
Mobil's First, Design Capacity is 650000 lb/yr
of Yellow Cake, E&MJ, pp 54-57, January 1981.
- [65] LITZ, L.M., In-Situ Uranium Mining With Oxygen,
Mining Engineering, pp 52-56, January 1981.
- [66] HUNKIN, G.G., Deep Mineral In-Situ Solution Mining,
Presented at the 55th Annual Fall Technical
Conference and Exhibition of the Society of
Petroleum Engineers of AIME, held in Dallas,
September 21-24, 1980.
- [67] MONTGOMERY, A.H., Adapting Uranium In-Situ Mining
Technology For New Commercial Operations,
Technical Committee Meeting on In-Situ Leaching
of Uranium Technology Environmental and
Economical Aspects, IAEA Headquarters, Vienna,
3-5 November 1987.
- [68] VOGT, T.C., STROM, E.T., JOHNSON, W.F., VENUTO, P.B.,
In-Situ Leaching of Crownpoint New Mexico
Uranium Ore. III. Laboratory Study of Strong
Leaching Systems: Sodium Hypochlorite, SME-
AIME Fall Meeting and Exhibit, Denver,
November 18-20, 1981.
- [69] LAVES, B.C., Effect of Sodium Silicate On Leaching
Uranium Ores With Hydrogen Peroxide, In Situ,
2(2), pp.75-92, 1978.
- [70] HARLOFF, G.J., RIESE, A.C., Experimental And Theore-
tical Study of Uranium In Situ Solution Mining
With H₂SO₄, Presented at the 55th Annual Fall
Technical Conference and Exhibition of the
Society of Petroleum Engineers of AIME, held
in Dallas, September 21-24, 1980.
- [71] GALICHON, P., SCHECHTER, R.S., COWLEY, A., BRELAND,
M., Chemical Factors In-Situ Uranium Leach
Mining, In Situ, 1(2), pp.125-146, 1977.

- [72] NIGBOR, M.T., ENGELMANN, W.H., TWEETON, D.R., Case History of a Pilot-Scale Acidic In Situ Uranium Leaching Experiment, United States Department of the Interior, Bureau of Mines Report of Investigations 8652, 1986.
- [73] KOSSACK, C.A., Three-Dimensional Simulations of Uranium Leaching and Aquifer Renovation, Presented at the 55th Annual Fall Technical Conference and Exhibition of the Society of Petroleum Engineers of AIME, held in Dallas, 1980.
- [74] SATTER, A., SHUM, Y.M., ADAMS, W.T., DAVIS, L.A., Chemical Transport In Porous Media, Presented at the 52nd Annual Fall Technical Conference and Exhibition of the Society of Petroleum Engineers of AIME, held in Colorado, 1977.
- [75] SATTER, A., SHUM, Y.M., ADAMS, W.T., DAVIS, L.A., Chemical Transport in Porous Media With Dispersion and Rate-Controlled Adsorption, Society of Petroleum Engineers Journal, pp.129-138, June 1980.
- [76] BOMMER, P.M., SCHECHTER, R.S., Mathematical Modeling of In-Situ Uranium Leaching, Society of Petroleum Engineers Journal, pp.393-400, Dec. 1979.
- [77] LUND, K., FOGLER, H.S., Acidization-V: The Prediction of the Movement of Acid and Permeability Front in Sandstone, Chemical Engineering Science, 31, pp.381-392, 1976.
- [78] SCHECHTER, R.S., BOMMER, P.M., Optimization of Uranium Leach Mining, Presented at the 55th Annual Fall Technical Conference and Exhibition of the Society of Petroleum Engineers of AIME, held in Dallas, September 21-24, 1980.
- [79] ROPER, W.A., MERCHANT, J.E., DUVALL, C.A., Combination of Numerical and Analytical Techniques to Improve Water-flood Model Efficiency, SPE 2031, Presented at the Sym. on Numerical Simulation of Reservoir Performance, Held in Dallas, Texas, April 22-23, 1968.
- [80] CRICHLLOW, H.B., Modern Reservoir Engineering- A Simulation Approach, Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall, Inc., 1977.
- [81] WAY, S.C., McKEE, C.R., In Situ Determination of Three Dimensional Aquifer Permeabilities, Ground Water, Vol.20, No.5, Sept-Oct., pp: 594-603, 1982.

- [82] BAUER, H.H., CHRISTIAN, G.D., OREILLY, J.E., Instrumental Analysis, Allyn and Baron Inc., Boston, 1978.
- [83] JOHNSON, D.A., FLORENCE, T.M., Spectrophotometric Determination of Uranium(VI) With 2-(5-Bromo-2-Pyridylazo)-5-Diethylaminophenol, Analytica Chemica Acta, 53, pp.73-79, 1971.
- [84] AYÇA, E., Analitik Kimya, Şirketi Mürettibiye Basım-evi, İstanbul, 1970.
- [85] GULENSOY, H., Kompleksometrinin Esasları ve Kompleksometrik Titrasyonlar, İstanbul Üniversitesi Yayınları, Kimya Fakültesi, No:32, Bölüm 1-5, İstanbul, 1977.
- [86] SHELL, H.R., Chemical Analysis of Clay, Report of Investigation 4420, United States Department of the Interior, August, 1949.
- [87] SHAPIRO, L., BRANNOCK, W.W., Rapid Analysis of Silicate Rocks, United States Department of the Interior, Geological Survey Circular 165, Washington, D.C., 1952.
- [88] SUNGUR, C., Yozgat-Sorgun (Temrezli-Akoluk) Dolayının Uranyum Etüd ve Sondaj Çalışmaları, MTA Enerji Hammaddeleri Etüd ve Arama Daire Başkanlığı, Şubat 1983.
- [89] SUNGUR, C., YUKSEL, A., SAĞLAM, R., Yozgat-Sorgun (Temrezli-Akoluk) Sahası Uranyum Rezerv Sondajları Ara Raporu, MTA Enerji Hammaddeleri Etüd ve Arama Daire Başkanlığı, Nisan 1984.
- [90] YUKSEL, A., SAĞLAM, R., SUNGUR, C., Yozgat-Sorgun (Temrezli-Akoluk) Uranyum Sahasının Rezerv Sondajlarının Değerlendirilmesi, MTA Enerji Hammaddeleri Etüd ve Arama Daire Başkanlığı, 1984.
- [91] SAGDIK, U., Yozgat-Sorgun-Temrezli Uranyum Cevherinin Laboratuvar Çapta Teknolojik Deneyleri, MTA Enstitüsü, Teknoloji Dairesi Rapor No:110, Ankara, Mart 1986.
- [92] SAGDIK, U., Yozgat-Sorgun-Temrezli Uranyum Cevherinin Laboratuvar Çapta Teknolojik Deneyleri, MTA Enstitüsü, Teknoloji Dairesi, Rapor No. 164, Ankara, Mayıs 1983.
- [93] De VRIES, F.W., Novel Techniques in Lixiviants and Site Restorastion, South Texas Uranium Seminar, Seminar, September 12, 1978.

- [94] PAUL, J.M., TSUI, T.F., EDWARDS, J.T., HOLMES, B.G., VENUTO, P.B., In-Situ Leaching of South Texas Uranium Ores-Part 1: Laboratory Studies of Ore Composition and Leaching Performance, Society of Petroleum Engineers Journal, pp: 377-386, April, 1983.
- [95] TOTH, G.W., ANNETT, J.R., Cost and Sensitivities Analysis For Uranium In Situ Leach Mining, Bureau of Mines-United States Department of the Interior Contract JO199112, Nus Corporation, 1981.
- [96] TOTH, G.W., LARSON, W.C., Cost and Sensitivities Analysis of Uranium In Situ Mining, Interfacing Technologies In Solution Mining, Proceedings of the Second SME-SPE International Solution Mining Symposium, Denver, Colorado, November 18-20, 1981.
- [97] CHASE, C.K., WINTERS, H.J., BHAPPU, R.B., Economic Evaluation of In Situ Extraction of Uranium, In Situ, 2(1), pp.49-63, 1978.
- [98] PHILLIPS, P.E., A Comparizon of Open Pit and In Situ Leach Economics, Presented at the Conference on Uranium Mining Technology, Reno, 1977.
- [99] TOTH, G.W., A Cost Model For Uranium Solution Mining, Presented to Second Conference on Uranium Mining Technology, Reno, Nowember 13-17, 1978.
- [100] CANER, G., Maden İşletme Yöntemlerinin Ekonomik Açıdan Karşılaştırılması ve En Uygun (Optimum) İşletme Politikasının Saptanması, MTA Yayını, Eğitim Serisi 18, Ankara, 1976.
- [101] CANER, G., Madencilik Yatırımları ve Ekonomik Değerlendirme Teknikleri, MTA Yayını, Eğitim Serisi 17, Ankara, 1976.
- [102] CANER, G., Maden Ekonomisi Mineral Kaynakların Değerlendirilmesi Teknik ve Ekonomik Kavram, Kriter ve Yöntemler, MTA Yayını, Eğitim Serisi 27, Ankara 1983.
- [103] KAYNAK, Y., Madencilik Araştırması, Türkiye Sınai Kalkınma Bankası, Özel Araştırmalar Müdürlüğü, İstanbul, Mart 1983.
- [104] GÖNENLİ, A., İşletmelerde Finansal Yönetim, İstanbul Üniversitesi Yayını 2181, İstanbul, 1976.
- [105] Yatırımların Teşviki ve Yönlendirilmesi ile İlgili Tebliğ (87/1), Resmi Gazete no 19298, pp.1-26, Ankara, 1-12-1986.

- [106] Feasibility Study For Mazıdağı Ferileser Complex,
Etibank, Project Division, Ankara, April 1986.
- [107] NIZAMOĞLU, S., Maden Yatırım ve İşletmesine İlişkin
Yönetim Sorunları ve Öneriler, Türkiye Maden-
cilik Bilimsel ve Teknik 10. Kongresi, Ankara,
11-15 Mayıs 1987.



Ek A :

PROGRAM PARAMETRELERİ

CEVHER DERİNLİĞİ (m)	150	DERİNLİK DEĞİŞİMİ	0
REZERV KALINLIĞI (m)	1.44	KALINLIK DEĞİŞİMİ	0
CEVHER TENÖRÜ (%)	.13	TENÖR DEĞİŞİMİ	0
YILLIK ÜRETİM kg U308	187500	İŞLETME SÜRESİ	10
KAZANMA (m)	75	ÇÖZELTİ DERİSİNİ	100
PLANT TİPİ	(EXPP)	ÜSTTEN BESLEME	
KUYU TİPİ	(PTYP)	7-NOKTA	
BES/ÜRE KUYU MESAFESİ (m)		18.288	
ÜRETİM KUYUSU AKIM HIZI (m ³ /h)		4.542	
OPERASYON TAKVİMİ (GÜN/YIL)		360	
TOPLAM KUYULARDA GÖZLEM KUYU (%)		.1	
İSGÜCÜ GÜVENLİK FAKTORU (%)		.35	
GENEL VE İDARI MALİYET YÜKÜ (%)		.05	
KURUMLAR VERGİSİ (%)		46	
MUHTELİF MALİYET YÜKÜ (\$/kg)		0	
İZİN MALİYETİ (\$)		600000	
SERMAYE MALİYETİ GÜVENLİK FAK		.1	
HAREKETLİ EKİPMAN MALİYETİ (\$)		355000	
YERLEŞİK EKİPMAN FAKTORU		2.35	
ORTALAMA YILLIK ÜCRET (\$)		4000	
ORTALAMA YILLIK MAAS (\$)		6000	
PROJE ÖNCESİ SÜRE (YIL)		3	
ALINAN KREDİLER :			
1 . YIL	0		
2 . YIL	0		
3 . YIL	0		
KREDİ FAİZİ %		12	
KREDİ GERİ ÖDEME SÜRESİ		10	

ÖZET SONUÇLAR

SATIS GELİRİ / kg	\$/kg	43.71
SERMAYENİN GERİ DÖNÜŞ HIZI %		13.00
YILLIK U308 ÜRETİMİ	kg	187500.
SABİT SERMAYE MALİYETİ %		10845380.
PROJE BAŞLANGIÇ YILI		1990
ÜRETİM BAŞLANGIÇ YILI		1993
PROJE BİTİŞ YILI		2003
MALİYET TENEL YILI		1990

I KUYUALANI KARAKTERistikLERi LISTESi

KUYU ALANI SAYISI(N)

		1	2	3	4	5	6	7
KUYUALANI DEVREYE ALMA SURESi		0.00	0.74	1.48	2.21	2.95	3.69	4.43
CALISMA SURESi (YIL)		266	266	266	266	266	266	266
KUYU ALANI SAYISI	=	13						
KUYU BOLGESi AKIM HIZI	(m3/h)	224.	224.	224.	224.	224.	224.	224.
GEREKLi KUYU BOLGESi BATARYASI		49	49	49	49	49	49	49
CEVHER TENORU	(%)	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
CEVHER KALINLIgi	(m)	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.
CEVHER DERINLIgi	(m)	150.	150.	150.	150.	150.	150.	150.
COZELTi DERISiNi	(PPM)	100.	100.	100.	100.	100.	100.	100.
BATARYA TiPi		7-NOKTA	7-NOKTA	7-NOKTA	7-NOKTA	7-NOKTA	7-NOKTA	7-NOKTA
BES/URE KUYU MESAFESi	(m)	18.3	18.3	18.3	18.3	18.3	18.3	18.3
BES/URE KUYU ORANI		1.5:1	1.5:1	1.5:1	1.5:1	1.5:1	1.5:1	1.5:1
URETiM KUYUSU AKIS HIZI	(m3/h)	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.
KAZANiM	(%)	75.	75.	75.	75.	75.	75.	75.

		8	9	10	11	12	13
KUYUALANI DEVREYE ALMA SURESi		5.17	5.90	6.64	7.38	8.12	8.86
CALISMA SURESi (YIL)		266	266	266	266	266	266
KUYU BOLGESi AKIM HIZI	(m3/h)	224.	224.	224.	224.	224.	224.
GEREKLi KUYU BOLGESi BATARYASI		49	49	49	49	49	49
CEVHER TENORU	(%)	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
CEVHER KALINLIgi	(m)	1.	1.	1.	1.	1.	1.
CEVHER DERINLIgi	(m)	150.	150.	150.	150.	150.	150.
COZELTi DERISiNi	(PPM)	100.	100.	100.	100.	100.	100.
BATARYA TiPi		7-NOKTA	7-NOKTA	7-NOKTA	7-NOKTA	7-NOKTA	7-NOKTA
BES/URE KUYU MESAFESi	(m)	18.3	18.3	18.3	18.3	18.3	18.3
BES/URE KUYU ORANI		1.5:1	1.5:1	1.5:1	1.5:1	1.5:1	1.5:1
URETiM KUYUSU AKIS HIZI	(m3/h)	5.	5.	5.	5.	5.	5.
KAZANiM	(%)	75.	75.	75.	75.	75.	75.

II TOPLAN KUYU BOLGESi MALiYET LISTESi

KUYUALANI DEVREYE ALMA SURESi		0.00	0.74	1.48	2.21	2.95	3.69	4.43
DELME VE BORULAMA MALiYETi (\$)		943898.	943898.	943898.	943898.	943898.	943898.	943898.
KUYU iCi EKIPMAN MALiYETi (\$)		223287.	223287.	223287.	223287.	223287.	223287.	223287.
YUZET EKIPMAN MALiYETi (\$)		162291.	162291.	162291.	162291.	162291.	162291.	162291.
HAREKETLi EKIPMAN MALiYETi (\$)		355000.						
TOPLAN	(\$)	1684475.	1329475.	1329475.	1329475.	1329475.	1329475.	1329475.

KUYUALANI DEVREYE ALMA SURESi		5.17	5.90	6.64	7.38	8.12	8.86
DELME VE BORULAMA MALiYETi (\$)		943898.	943898.	943898.	943898.	943898.	943898.
KUYU iCi EKIPMAN MALiYETi (\$)		223287.	223287.	223287.	223287.	223287.	223287.
YUZET EKIPMAN MALiYETi (\$)		162291.	162291.	162291.	162291.	162291.	162291.
TOPLAN	(\$)	1329475.	1329475.	1329475.	1329475.	1329475.	1329475.

III EKSTRAKSİYON PROSES TESİSİ

TESİS KARAKTERİSTİKLERİ

TESİS TİPİ USTTEN BESLEME

EKSTRAKSİYON TESİS BOYUTU
(m³/h BESLEME HIZI) 300.

TESİS MALİYETİ

PROSES EKİPMAN MALİYETİ (\$)	816092.
YERLEŞME VE BÖLGE DÜZENLEMESİ (\$)	1917817.
BİNA MALİYETLERİ (\$)	545617.
TOPLAM (\$)	3279525.

IV SERMAYE MALİYET LİSTESİ

PROSES EKİPMAN MALİYETİ (\$)	816092.
YERLEŞME VE BÖLGE DÜZENLEMESİ (\$)	1917817.
BİNA MALİYETLERİ (\$)	545617.
BASLANGIÇ KUYU MALİYETLERİ (\$)	1684475.
İZİN MALİYETİ (\$)	600000.
PILOT TESİS MALİYETİ (\$)	1079703.
RESTORASYON SİSTEM MALİYETİ (\$)	3398315.
MÜHENDİSLİK/PROJE DANIŞ. MALİYETİ (\$)	803361.
SABİT SERMAYE MALİYETİ (\$)	10845380.
GUVENLİK FONU (\$)	1084538.
ERTELENNİS SERMAYE (\$)	443750.
TOPLAM SERMAYE MALİYETİ (\$)	12373670.

V DOBRUDAN ISLETME MALİYETİ

TAKVİM YILI	PROJE YILI	KUYU/LANT MALİYETİ	İNSANGUCU MALİYETİ	KİMYASAL MALİYETİ	ENERJİ MALİYETİ	DESTEKLEME MALİYETİ	SU MALİYETİ	GAİ MALİYETİ	TOPLAM MALİYETİ
1993	1	1801457.	433756.	3112599.	307143.	498887.	68481.	311116.	6533440.
1994	2	1801457.	433756.	3112599.	307143.	498887.	68481.	311116.	6533439.
1995	3	1801457.	433756.	3112599.	307143.	498887.	68481.	311116.	6533440.
1996	4	1801457.	433756.	3112599.	307143.	498887.	68481.	311116.	6533439.
1997	5	1801457.	433756.	3112599.	307143.	498887.	68481.	311116.	6533440.
1998	6	1801457.	433756.	3112599.	307143.	498887.	68481.	311116.	6533440.
1999	7	1801457.	433756.	3112599.	307143.	498887.	68481.	311116.	6533440.
2000	8	1801457.	433756.	3112599.	307143.	498887.	68481.	311116.	6533440.
2001	9	1542102.	433756.	3112599.	307143.	498887.	68481.	298148.	6281116.
2002	10	0.	433756.	3112599.	307143.	498887.	68481.	221043.	4641910.
2003	11	0.	216878.	0.	153572.	249444.	34240.	32707.	686840.

TOPLAM DOBRUDAN ISLETME MALİYETLERİ

63857390.

VI NAKIT AKIMI ÖZET TABLOSU

PROJENİN TAKVİM YILI:
TAM ÜRETİMİN RELATİF YILI:

1991 1992 1993 1994 1995 1996 1997
-3 -2 -1 1 2 3 4

SATIR NAKİT AKIMI KAPSAMI

100 BELİR/LB ÜSÖB	0.00	0.00	19.83	19.83	19.83	19.83	19.83
101 YILLIK ÜSÖB ÜRETİMİ	0.	0.	16800.	413360.	413360.	413360.	413360.
102 YILLIK SATIŞ GELİRİ	0.	0.	333094.	8195886.	8195886.	8195886.	8195886.
103 YILLIK İŞLETME MALİYETLERİ	0.	0.	0.	6533440.	6533439.	6533440.	6533439.
104 BRGS KAR	0.	0.	333094.	1662246.	1662247.	1662246.	1662247.

DİĞER MALİYETLER VE İNDİRİMLER

105 ASINMA PAYI / AMORTİSMAN	0.	0.	411022.	1041357.	1041357.	1041357.	1041357.
107 KREDİ FAİZİ	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
108 MÜTELİF MASRAFLAR	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
109 VERGİ ÖNCESİ NET BELİRLER	0.	0.	-77929.	620889.	620890.	620889.	620890.
110 ÖNCEKİ YILLARDAN VERGİ KAYBI	0.	0.	0.	77929.	0.	0.	0.
111 YATIRIM İNDİRİMİ	0.	0.	0.	542960.	620890.	620889.	620890.
112 VERGİLENDİRMEYE ESAS OLAN NET GE.	0.	0.	8978.	0.	0.	0.	0.
113 KURUMLAR VERGİSİ	0.	0.	4130.	0.	0.	0.	0.
114 BELİR VERGİSİ	0.	0.	0.	135740.	155222.	155222.	155222.
115 KANUNİ SORUNLULUKLAR	0.	0.	332.	22973.	22973.	22973.	22973.
116 KANUNİ İHTİVATLAR	0.	0.	449.	27148.	31044.	31044.	31044.
117 ÖDENECEK NET VERGİ	0.	0.	4911.	185861.	209240.	209240.	209240.

118 NET KAR	0.	0.	4067.	435028.	411650.	411649.	411650.
119 EK BELIRLER(KURTARILAN MAL DEGERI)	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
DUZELTILMIS NET							
120 MAKIT OLAYANLARIN GERI EKLENMESI	0.	0.	333094.	1662246.	1662247.	1662246.	1662247.
121 ODENECEK ANA KREDI	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
122 ISLETMELEDE NET GIRISI	0.	0.	337161.	2097274.	2073896.	2073896.	2073896.
YILLIK SERMAYE HARCAMASI							
123 IZIN	240000.	240000.	120000.	0.	0.	0.	0.
124 PILOT TESIS	0.	863762.	215941.	0.	0.	0.	0.
125 PROSES EKIPMAN	0.	408046.	408046.	0.	0.	0.	0.
126 YERLESME VE BOLGE DUZENLEME	0.	0.	2463433.	0.	0.	0.	0.
BINA MALIYETLERI	0.	0.	1684475.	0.	0.	0.	0.
127 KUYUBOLGESI BELISTIRME	0.	1699157.	1699157.	0.	0.	0.	0.
128 RESTORASYON SISTEMI	321345.	241008.	241008.	0.	0.	0.	0.
129 MUHENDISLIK PROJE DANISMANLIGI	56134.	345197.	683206.	0.	0.	0.	0.
130 INTINALLER	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
131 TAHAKKUK EDEN FAIZ	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
132 IS MALIYETI	0.	0.	0.	463360.	0.	0.	0.
133 TOPLAN YILLIK MALIYET HARCAMASI							
134 SERMAYEDEN TENIN EDILEN MIKTAR	561345.	3451974.	6832061.	1633360.	0.	0.	0.
135 KREDILERDEN TENIN EDILEN MIKTAR	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
136 YILLIK NET MAKIT AKIMI							
	-561345.	-3451974.	-6494900.	463914.	2073896.	2073896.	2073896.

PROJENİN İKAMİN YILI: 1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004
TAM ÜRETİMİN RELATİF YILI: 5 6 7 8 9 10 11

SATIR NAKİT AKINI KAPSAMI

100 GELİR/LR ÜSÖR	19.83	19.83	19.83	19.83	19.83	19.83	0.00
101 YILLIK ÜSÖR ÜRETİMİ	413360.	413360.	413360.	413360.	413360.	413360.	0.
102 YILLIK SATIŞ BELİRİ	8195686.	8195686.	8195686.	8195686.	8195686.	8195686.	0.
103 YILLIK İŞLETME MALİYETLERİ	6533440.	6533440.	6533440.	6533440.	6261116.	4641910.	686840.
104 BRÖS KAR	1662246.	1662246.	1662246.	1662246.	1934570.	3553776.	-686840.

DİĞER MALİYETLER VE İNDİRİMLER

105 ASINMA PAYI / ANDORTISMAN	1041357.	1041357.	1041357.	1041357.	1041357.	1041357.	1041357.
107 KREDİ FAİZİ	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
108 MÜTELİF MASRAFLAR	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
109 VERGİ ÖNCESİ NET GELİRLER	620889.	620889.	620889.	620889.	893213.	2512419.	-1728197.
110 ÖNCEKİ YILLARDAN VERGİ KAYBI	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
111 YATIRIM İNDİRİMİ	620889.	620889.	620889.	620889.	893213.	2512419.	0.
112 VERGİLENDİRMEYE ESAS OLAN NET BE.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
113 KURUMLAR VERGİSİ	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
114 GELİR VERGİSİ	155222.	155222.	155222.	155222.	273303.	628105.	0.
115 KANUNİ SORUMLULUKLAR	22973.	22973.	22973.	22973.	33049.	92959.	0.
116 KANUNİ İHTİYATLAR	31044.	31044.	31044.	31044.	44661.	125621.	0.
117 ÖDENECEK NET VERGİ	209240.	209240.	209240.	209240.	301013.	846685.	0.

118 NET KAR	411649.	411649.	411649.	592200.	1665734.	0.
119 EK BELİRLER(KURTARILAN MAL DEBERİ)	0.	0.	35500.	0.	0.	365718.
DÜZELTİLMİŞ NET						
120 NAKİT OLMA YANILARIN GERİ EKLENMESİ	1662246.	1662246.	1662246.	1934570.	3553776.	0.
121 ÖDENECEK ANA KREDİ	0.	0.	0.	0.	0.	0.
122 İŞLETMELERDE NET GİRİŞİ	2073896.	2073896.	2109396.	2073896.	2526770.	5219509. -321122.
YILLIK SERMAYE HARCAMASI						
123 İZİN	0.	0.	0.	0.	0.	0.
124 PİLOT TESİS	0.	0.	0.	0.	0.	0.
125 PROSES EKİPMAN	0.	0.	0.	0.	0.	0.
126 YERLEŞME VE BÖLGE DÜZENLEME	0.	0.	0.	0.	0.	0.
BİNA MALİYETLERİ	0.	0.	0.	0.	0.	0.
127 KUYU BÖLGESİ GELİŞTİRME	0.	0.	355000.	0.	0.	0.
128 RESTORASYON SİSTEMİ	0.	0.	0.	0.	0.	0.
129 MÜHENDİSLİK PROJE DANIŞMANLIĞI	0.	0.	0.	0.	0.	0.
130 İHTİMALLER	0.	0.	0.	0.	0.	0.
131 TAHAKKUK EDEN FAİZ	0.	0.	0.	0.	0.	0.
132 İS MALİYETİ	0.	0.	0.	0.	0.	-1633360.
133 TOPLAM YILLIK MALİYET HARCAMASI						
134 SERMAYEDEN TEMİN EDİLEN MİKTAR	0.	0.	355000.	0.	0.	1312238.
135 KREDİLERDEN TEMİN EDİLEN MİKTAR	0.	0.	0.	0.	0.	1312238.
136 YILLIK NET NAKİT AKIMI						
	2073896.	2073896.	1754396.	2073896.	2526770.	5219509. 1312238.

Ek B. =

PROGRAM PARAMETRELERİ

CEVHER DERİNLİĞİ (m)	150	DERİNLİK DEĞİŞİMİ	0
REZERV KALINLIĞI (m)	1.44	KALINLIK DEĞİŞİMİ	0
CEVHER TENÖRÜ (%)	.13	TENÖR DEĞİŞİMİ	0
YILLIK ÜRETİM kg U308	135000	İŞLETME SÜRESİ	10
KAZANMA (m)	53	ÇÖZELTİ DERİSİMİ	70
PLANT TİPİ	(EXPP)	USTTEN BESLEME	
KUYU TİPİ	(PTYP)	7-NOKTA	
BES/URE KUYU MESAFESİ (m)		18.288	
ÜRETİM KUYUSU AKIM HIZI (m3/h)		4.542	
OPERASYON TAKVİMİ (GÜN/YIL)		360	
TOPLAM KUYULARDA GÖZLEM KUYU (%)		.1	
İSGÜCÜ GÜVENLİK FAKTORU (%)		.35	
GENEL VE İDARI MALİYET YÜKÜ (%)		.05	
KURUNLAR VERGİSİ (%)		46	
MUHTELİF MALİYET YÜKÜ (\$/kg)		0	
İZİN MALİYETİ (\$)		600000	
SERMAYE MALİYETİ GÜVENLİK FAK		.1	
HAREKETLİ EKİPMAN MALİYETİ (\$)		355000	
YERLESİK EKİPMAN FAKTORU		2.35	
ORTALAMA YILLIK ÜCRET (\$)		4000	
ORTALAMA YILLIK MAAS (\$)		6000	
PROJE ÖNCESİ SURE (YIL)		3	
ALINAN KREDİLER :			
1 . YIL	0		
2 . YIL	0		
3 . YIL	0		
KREDİ FAİZİ %		12	
KREDİ GERİ ÖDEME SÜRESİ		10	

ÖZET SONUÇLAR

SATIS BELİRİ / kg	\$/kg	54.31
SERMAYENİN GERİ DÖNÜŞ HIZI %		13.00
YILLIK U308 ÜRETİMİ	kg	135000.
SABİT SERMAYE MALİYETİ	%	10853430.
PROJE BAŞLANGIÇ YILI		1990
ÜRETİM BAŞLANGIÇ YILI		1993
PROJE BİTİŞ YILI		2003
MALİYET TEMEL YILI		1990

I KUYUALANI KARAKTERISTIKLERİ LİSTESİ

KUYU ALANI SAYISI(N)

	1	2	3	4	5	6	7
KUYUALANI DEVREYE ALMA SÜRESİ	0.00	0.75	1.49	2.24	2.98	3.73	4.47
CALISMA SÜRESİ (YIL)	268	268	268	268	268	268	268
KUYU ALANI SAYISI =	13						
KUYU BÖLGESİ AKIM HIZI (m3/h)	230.	230.	230.	230.	230.	230.	230.
GEREKLİ KUYU BÖLGESİ BATARYASI	51	51	51	51	51	51	51
CEVHER TENÖRÜ (%)	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
CEVHER KALINLIĞI (m)	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.
CEVHER DERİNLİĞİ (m)	150.	150.	150.	150.	150.	150.	150.
COZELTİ DERİSİMİ (PPM)	70.	70.	70.	70.	70.	70.	70.
BATARYA TİPİ	7-NOKTA	7-NOKTA	7-NOKTA	7-NOKTA	7-NOKTA	7-NOKTA	7-NOKTA
BES/URE KUYU MESAFESİ (m)	18.3	18.3	18.3	18.3	18.3	18.3	18.3
BES/URE KUYU ORANI	1.5:1	1.5:1	1.5:1	1.5:1	1.5:1	1.5:1	1.5:1
URETİM KUYUSU AKIS HIZI (m3/h)	5.	5.	5.	5.	5.	5.	5.
KAZANIM (%)	53.	53.	53.	53.	53.	53.	53.

	8	9	10	11	12	13
KUYUALANI DEVREYE ALMA SÜRESİ	5.22	5.96	6.71	7.45	8.20	8.94
CALISMA SÜRESİ (YIL)	268	268	268	268	268	268
KUYU BÖLGESİ AKIM HIZI (m3/h)	230.	230.	230.	230.	230.	230.
GEREKLİ KUYU BÖLGESİ BATARYASI	51	51	51	51	51	51
CEVHER TENÖRÜ (%)	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
CEVHER KALINLIĞI (m)	1.	1.	1.	1.	1.	1.
CEVHER DERİNLİĞİ (m)	150.	150.	150.	150.	150.	150.
COZELTİ DERİSİMİ (PPM)	70.	70.	70.	70.	70.	70.
BATARYA TİPİ	7-NOKTA	7-NOKTA	7-NOKTA	7-NOKTA	7-NOKTA	7-NOKTA
BES/URE KUYU MESAFESİ (m)	18.3	18.3	18.3	18.3	18.3	18.3
BES/URE KUYU ORANI	1.5:1	1.5:1	1.5:1	1.5:1	1.5:1	1.5:1
URETİM KUYUSU AKIS HIZI (m3/h)	5.	5.	5.	5.	5.	5.
KAZANIM (%)	53.	53.	53.	53.	53.	53.

II TOPLAM KUYU BÖLGESİ MALİYET LİSTESİ

KUYUALANI DEVREYE ALMA SÜRESİ	0.00	0.75	1.49	2.24	2.98	3.73	4.47
DELME VE BORULAMA MALİYETİ (\$)	978347.	978347.	978347.	978347.	978347.	978347.	978347.
KUYU İÇİ EKİPMAN MALİYETİ (\$)	231649.	231649.	231649.	231649.	231649.	231649.	231649.
YÜZEY EKİPMAN MALİYETİ (\$)	168915.	168915.	168915.	168915.	168915.	168915.	168915.
HAREKETLİ EKİPMAN MALİYETİ (\$)	355000.						
TOPLAM (\$)	1733911.	1378911.	1378911.	1378911.	1378911.	1378911.	1378911.

KUYUALANI DEVREYE ALMA SÜRESİ	5.22	5.96	6.71	7.45	8.20	8.94
DELME VE BORULAMA MALİYETİ (\$)	978347.	978347.	978347.	978347.	978347.	978347.
KUYU İÇİ EKİPMAN MALİYETİ (\$)	231649.	231649.	231649.	231649.	231649.	231649.
YÜZEY EKİPMAN MALİYETİ (\$)	168915.	168915.	168915.	168915.	168915.	168915.
TOPLAM (\$)	1378911.	1378911.	1378911.	1378911.	1378911.	1378911.

III EKSTRAKSİYON PROSES TESİSİ

TESİS KARAKTERİSTİKLERİ

TESİS TİPİ	ÜSTTEN BESLEME
Ekstraksiyon Tesi Boyutu (m ³ /h Besleme Hızı)	300.

TESİS MALİYETİ

Proses Ekipman Maliyeti (\$)	816092.
Yerleşme ve Bölge Düzenleme (\$)	1917817.
Bina Maliyetleri (\$)	545617.
TOPLAM (\$)	3279525.

IV SERMAYE MALİYET LİSTESİ

Proses Ekipman Maliyeti	(\$)	816092.
Yerleşme ve Bölge Düzenlemesi	(\$)	1917817.
Bina Maliyetleri	(\$)	545617.
Başlangıç Kuyu Maliyetleri	(\$)	1733911.
İzin Maliyeti	(\$)	600000.
Pilot Tesi Maliyeti	(\$)	1037720.
Restorasyon Sistem Maliyeti	(\$)	3398315.
Mühendislik/Proje Danış. Maliyeti	(\$)	803958.
Sabit Sermaye Maliyeti	(\$)	10853430.
Güvenlik Fonu	(\$)	1085343.
Ertelemiş Sermaye	(\$)	443750.
TOPLAM SERMAYE MALİYETİ	(\$)	12382520.

V DOGRUDAN ISLETME MALİYETİ

TAKVİM YILI	PROJE YILI	KUYU/LANI MALİYETİ	İNSANGÜCU MALİYETİ	KİMYASAL MALİYETİ	ENERJİ MALİYETİ	DESTEKLEME MALİYETİ	SU MALİYETİ	G&I MALİYETİ	TOPLAM
1993	1	1850887.	433756.	2241072.	309077.	499258.	68481.	270126.	5672656.
1994	2	1850887.	433756.	2241072.	309077.	499258.	68481.	270126.	5672656.
1995	3	1850887.	433756.	2241072.	309077.	499258.	68481.	270126.	5672656.
1996	4	1850887.	433756.	2241072.	309077.	499258.	68481.	270126.	5672656.
1997	5	1850887.	433756.	2241072.	309077.	499258.	68481.	270126.	5672656.
1998	6	1850887.	433756.	2241072.	309077.	499258.	68481.	270126.	5672656.
1999	7	1850887.	433756.	2241072.	309077.	499258.	68481.	270126.	5672656.
2000	8	1850887.	433756.	2241072.	309077.	499258.	68481.	270126.	5672656.
2001	9	1740459.	433756.	2241072.	309077.	499258.	68481.	264605.	5556706.
2002	10	0.	433756.	2241072.	309077.	499258.	68481.	177582.	3729224.
2003	11	0.	216878.	0.	154538.	249629.	34240.	32764.	688050.

TOPLAM DOGRUDAN İŞLETME MALİYETLERİ

55355230.

VI NAKIT AKINI ÖZET TABLOSU

PROJENİN TAKVİM YILI: TAN ÜRETİMİN RELATİF YILI:	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
	-3	-2	-1	1	2	3	4
SATIR NAKİT AKINI KAPSAMI							
100 BELİR/AB ÜSÖB	0.00	0.00	24.63	24.63	24.63	24.63	24.63
101 YILLIK ÜSÖB ÜRETİMİ	0.	0.	11760.	297619.	297619.	297619.	297619.
102 YILLIK SATIŞ BELİRİ	0.	0.	289705.	7331777.	7331777.	7331777.	7331777.
103 YILLIK İŞLETME MALİYETLERİ	0.	0.	0.	5672656.	5672656.	5672656.	5672656.
104 GROS KAR	0.	0.	289705.	1659121.	1659121.	1659121.	1659121.
DİĞER MALİYETLER VE İNDİRİMLER							
105 ASINMA PAVI / AMORTİSMAN	0.	0.	407524.	1042480.	1042480.	1042480.	1042480.
107 KREDİ FAİZİ	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
108 MÜTELİF MASRAFLAR	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
109 VERGİ ÖNCESİ NET BELİRLER	0.	0.	-117819.	616641.	616641.	616641.	616641.
110 ÖNCEKİ YILLARDAN VERGİ KAYBI	0.	0.	0.	117819.	0.	0.	0.
111 YATIRIM İNDİRİMİ	0.	0.	0.	498822.	616641.	616641.	616641.
112 VERGİLENDİRMEYE ESAS OLAN NET GE.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
113 KURUMLAR VERGİSİ	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
114 BELİR VERGİSİ	0.	0.	0.	124705.	154160.	154160.	154160.
115 KANUNİ SÖRÜMLÜLÜKLER	0.	0.	0.	22816.	22816.	22816.	22816.
116 KANUNİ İHTİYATLAR	0.	0.	0.	24941.	30832.	30832.	30832.

117 ODENECEK NET VERGİ	0.	0.	0.	172462.	207808.	207808.	207808.
118 NET KAR	0.	0.	0.	444178.	408833.	408833.	408833.
119 EK BELİRLER(KURTARILAN MAL DEĞERİ)	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
DÜZELTİLMİŞ NET							
120 NAKİT OLMA YANLARIN GİRİ EKLENMESİ	0.	0.	289705.	1659121.	1659121.	1659121.	1659121.
121 ODENECEK ANA KREDİ	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
122 İŞLETMELERDE NET GİRİŞİ	0.	0.	289705.	2103299.	2067953.	2067953.	2067953.
YILLIK SERMAYE HARCAMASI							
123 İZİN	240000.	240000.	120000.	0.	0.	0.	0.
124 PİLOT TESTİ	0.	830176.	207544.	0.	0.	0.	0.
125 PROSES EKİPMAN	0.	408046.	408046.	0.	0.	0.	0.
126 YERLEŞME VE BÖLGE DÜZENLEME							
BİNA MALİYETLERİ	0.	0.	2463433.	0.	0.	0.	0.
127 KUYUBÖLGE SİSTEMLERİ	0.	0.	1733911.	0.	0.	0.	0.
128 RESTORASYON SİSTEMİ	0.	1699157.	1699157.	0.	0.	0.	0.
129 MÜHÜRİSLİK PROJESİ DANIŞMANLIĞI	321583.	241187.	241187.	0.	0.	0.	0.
130 İHTİSALLER	56158.	341857.	687328.	0.	0.	0.	0.
131 TAHAKKUK EDEN FAİZ	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
132 İS MALİYETİ	0.	0.	0.	1418164.	0.	0.	0.
133 TOPLAN YILLIK MALİYET HARCAMASI	561583.	3418567.	6873279.	1418164.	0.	0.	0.
134 SERMAYEDEN TENİN EDİLEN MİKTAR	561583.	3418567.	6873279.	1418164.	0.	0.	0.
135 KREDİLERDEN TENİN EDİLEN MİKTAR	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
136 YILLIK NET NAKİT AKIMI	-561583.	-3418567.	-6873279.	685135.	2067953.	2067953.	2067953.

PROJENİN TAKVİM YILI:
TAN ÜRETİMİN RELATİF YILI:

1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004
5 6 7 8 9 10 11

SATIR NAKİT AKIMI KAPSAMI

100 GELİR/LB ÜSÖB 24.63 24.63 24.63 24.63 24.63 24.63 0.00
101 YILLIK ÜSÖB ÜRETİMİ 297619. 297619. 297619. 297619. 297619. 297619. 0.
102 YILLIK SATIŞ BELİRİ 733177. 733177. 733177. 733177. 733177. 733177. 0.

103 YILLIK İŞLETME MALİYETLERİ 5672656. 5672656. 5672656. 5672656. 5556706. 3729224. 688050.

104 GROS KAR 1659121. 1659121. 1659121. 1659121. 1775071. 3602532. -688050.

DİĞER MALİYETLER VE İNDİRİMLER

105 ASINMA PAYI / AMORTİSMAN 1042480. 1042480. 1042480. 1042480. 1042480. 1042480. 1042480.
107 KREDİ FAİZİ 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
108 MUHTELİF MASRAFLAR 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.

109 VERGİ ÖNCESİ NET GELİRLER 616641. 616641. 616641. 616641. 732591. 2560073. -1730530.

110 ÖNCEKİ YILLARDAN VERGİ KAYBI

111 YATIRIM İNDİRİMİ 616641. 616641. 616641. 616641. 732591. 2560073. 0.

112 VERGİLENDİRMEYE ESAS OLAN NET GE.

113 KURUMLAR VERGİSİ 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.

114 GELİR VERGİSİ

115 KANUNİ SORUMLULUKLAR 154160. 154160. 154160. 154160. 183148. 640018. 0.

116 KANUNİ İHTİYATLAR

22816. 22816. 22816. 22816. 27106. 94723. 0.
30832. 30832. 30832. 30832. 36630. 128004. 0.

117	ÖDENECEK NET VERGİ	207808.	207808.	207808.	207808.	246883.	862744.	0.
118	NET KAR	408833.	408833.	408833.	408833.	485708.	1697328.	0.
119	EK BELİRLER(KURTARILAN MAL DEĞERİ)	0.	0.	35500.	0.	0.	0.	365718.
DÜZELTİLMİŞ NET								
120	NAKİT OLMA YANILARIN GERİ EKLENMESİ	1659121.	1659121.	1659121.	1659121.	1775071.	3602553.	0.
121	ÖDENECEK ANA KREDİ	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
122	İŞLETMELERDE NET GİRİŞİ	2067954.	2067953.	2103453.	2067953.	2260778.	5299881.	-322331.
YILLIK SERMAYE HARCAMASI								
123	İZİN	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
124	PILOT TESTİ	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
125	PROSES EKİPMAN	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
126	VERİLEME VE BÖLGE DÜZENLEME	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
127	KUYUBÖLGESİ BELİSTİRME	0.	0.	355000.	0.	0.	0.	0.
128	RESTORASYON SİSTEMİ	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
129	MÜHENDİSLİK PROJE DANIŞMANLIĞI	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
130	İHTİMALER	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
131	TAHAKKUK EDEN FAİZ	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
132	İS MALİYETİ	0.	0.	0.	0.	0.	-1418164.	0.
133	TOPLAM YILLIK MALİYET HARCAMASI	0.	0.	355000.	0.	0.	0.	1095833.
134	SERMAYEDEN TEMİN EDİLEN MİKTAR	0.	0.	355000.	0.	0.	0.	1095833.
135	KREDİLERDEN TEMİN EDİLEN MİKTAR	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
136	YILLIK NET NAKİT AKINI	2067954.	2067953.	1748453.	2067953.	2260778.	5299881.	1095833.

ÖZGEÇMİŞ

1958 İstanbul doğumlu olup, orta ve lise öğrenimini Saint Benoit Fransız Erkek Lisesi'nde tamamladı. 1978 yılında İTÜ Kimya Fakültesinde başladığı Kimya Mühendisliği öğrenimini 1982 yılında mühendis olarak bitirdi. Yine aynı yıl içinde yüksek lisans öğrenimine İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği anabilim dalında başladı. 1984 yılında yüksek mühendislik ünvanını almasını takiben yine aynı yerde doktora çalışmasına başladı. 1976-1982 yılları arasında Türkiye'nin ilk bilim-kurgu dergisi olan X-Bilinmeyen Evren'i yayınladı ve bu dergide altmışın üstünde bilimsel ve bilim kurgusal yazı yayınladı. 1983 yılından beri İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi, Temel İşlemler ve Termodinamik Anabilim dalında Araştırma Görevlisi olarak görev yapmakta olup, evlidir. 1980 yılında 2 aylık bir süre IAESTE bursuyla Hollanda'da bulundu. 1984-1987 yılları arasında TÜBİTAK yurt içi şeref bursiyeri oldu. 1987-1988 yıllarında KOÇ Vakfı Araştırmacı destek bursunu aldı. Sekizi tebliğ, üçü makale, ikisi ders notu olmak üzere 13 adet bilimsel yayın yaptı.