İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

K-FELDSPAT CEVHERLERİNDEN POTASYUM TUZLARININ ALTERNATİF KATKI MADDELERİ İLE KAZANIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tülay TÜRK

Cevher Hazırlama Mühendisliği Anabilim Dalı

Cevher Hazırlama Mühendisliği Programı

ŞUBAT 2021

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

K-FELDSPAT CEVHERLERİNDEN POTASYUM TUZLARININ ALTERNATİF KATKI MADDELERİ İLE KAZANIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tülay TÜRK
505181106

Cevher Hazırlama Mühendisliği Anabilim Dalı

Cevher Hazırlama Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Murat Olgaç KANGAL

ŞUBAT 2021

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 505181106 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Tülay Türk, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "K-Feldspat Cevherlerinden Potasyum Tuzlarının Alternatif Katkı Maddeleri ile Kazanımı" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Prof. Dr. Murat Olgaç KANGAL** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Abdullah Ekrem YÜCE** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Doç. Dr. Kenan ÇİNKU İstanbul Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : 22 Ocak 2021
Savunma Tarihi : 18 Şubat 2021

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitim hayatım boyunca bana her konuda destek olan danışman hocam Prof. Dr. M. Olgaç Kangal'a içtenlikle teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca bölümün imkanlarından yararlanmamı sağlayan Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü Başkanı Sayın Prof. Dr. Gülay Bulut'a ve tüm eğitim hayatım boyunca benimle bilgilerini paylaşan saygıdeğer hocalarıma teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım boyunca fikirlerini benimle paylaşan ve bana yardımcı olan çalışma arkadaşım Araş. Gör. Berivan Tunç'a ve desteklerini esirgemeyen Araş. Gör. Esra Tanısalı, Araş. Gör. Zeynep Üçerler, Araş. Gör. Oğuzhan Mert Gürkan ve Araş. Gör. Yusuf Enes Pural'a teşekkür ederim.

Numune teminini sağlayan BS Yatırım'a, tezime destek olan İTÜ BAP Birimine (Proje ID: 42017) ve 218M107 no'lu proje ile destek olan TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Analiz desteği sağlayan ESAN şirketi bünyesindeki Hüseyin Baştürkçü, Mete Tayhan Serdengeçti, Bekir Başkurt ve Kaan Özçelik'e ayrıca teşekkür ederim.

Beni bu günlere getiren ve başarılı olmamı sağlayan babama, anneme ve her zaman yanımda olan kardeşlerime teşekkürü borç bilirim.

Şubat 2021

Tülay TÜRK
(Cevher Hazırlama Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **v**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
KISALTMALAR ..... **ix**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xi**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xiiiiii**
ÖZET ..... **xv**
SUMMARY ..... **xvii**
1. GİRİŞ **1**
2. TEORİK BİLGİLER **3**
2.1. Feldspat 3
2.2. Potas 6
2.2.1. Potas üretimi ve rezervleri 7
2.2.2. Potas kullanım alanları 10
2.2.3. Potas üretim yöntemleri 15
2.2.4. Potas üretimi üzerine yapılan çalışmalar 16
2.3. Kavurma 22
2.4. Liç Prosesi 22
3. MALZEME VE YÖNTEM **25**
3.1. Malzeme 25
3.2. Yöntem 33
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR **37**
4.1. $CaCl_2$ Tuzu Deneyleri 37
4.2. $CaCl_2$ ve NaCl Tuzu Deneyleri 39
4.3. $MgCl_2$ Tuzu Deneyleri 42
4.4. $CaSO_4$-$CaCO_3$ Deneyleri 44
4.5. Jips-NaCl Deneyleri 45
4.6. Ekonomik Değerlendirme 50
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER **53**
KAYNAKLAR **55**
ÖZGEÇMİŞ **59**

KISALTMALAR

BSE **:** Geri saçılan elekronlar (Back-Scattered Electron)

DTA **:** Diferansiyel termal analiz (Differential Thermal Analysis)

MLA **:** Serbestleşme analizi (Mineral Liberation Analysis)

SEM **:** Taramalı elektron mikroskobu (Scanning Electron Microscope)

TGA **:** Termo-gravimetrik analiz (Thermogravimetric Analysis)

XRD **:** X-ışını difraksiyonu (X-Ray Diffraction)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Feldspat grubu mineralleri. **4**
Çizelge 2.2 : Feldspat üretim standartları. **5**
Çizelge 2.3 : Feldspat üretimi ve rezervleri. **6**
Çizelge 2.4 : Çözünebilir potas mineralleri. **7**
Çizelge 2.5 : Dünya potas üretimi ve rezervleri. **9**
Çizelge 2.6 : Gübrelerde kullanılan potas bileşikleri ve içerikleri. **14**
Çizelge 2.7 : 2000-2017 yılları arası göre Türkiye gübre ithalatı (bin ton). **14**
Çizelge 2.8 : K-Feldspattan potas üretimi konusunda alınan patentler. **17**

Çizelge 3.1 : Tuvenan cevher modal mineraloji analizi sonucu. **26**
Çizelge 3.2 : Tuvenan cevher komple kimyasal analiz sonucu. **28**

Çizelge 4.1 : $CaCl_2$ tuzu kullanılarak elde edilen potasyum çözünme verimleri. **37**
Çizelge 4.2 : CaCl2 tuzu ile yapılan deneylerin optimum koşulları. **39**
Çizelge 4.3 : $CaCl_2$ ve NaCl tuzlarının karışımı ile elde edilen potasyum çözünme verimleri. **40**
Çizelge 4.4 : $MgCl_2$ kullanılarak yapılan deneylere ait sonuçlar. **42**
Çizelge 4.5 : Sadece Jips ve Jips-Kalsit karışımı ile yapılan deney sonuçları. **44**
Çizelge 4.6 : Jips ve NaCl ile yapılan ısıl işlem sıcaklığı deneyleri sonuçları. **46**
Çizelge 4.7 : Farklı jips oranları ile yapılan deneylere ait sonuçlar. **47**
Çizelge 4.8 : Farklı NaCl oranları ile yapılan deneylere ait sonuçlar. **47**
Çizelge 4.9 : CaSO4-NaCl karışımı ile yapılan deneyler sonucunda elde edilen optimum koşullar. **50**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Türkiye feldspat yatakları. ……..……..3
Şekil 2.2 : Feldspat faz diagramı. ……...4
Şekil 2.3 : Potas yatakları dağılımı. ……....8
Şekil 2.4 : Dünya potas üretimi ve fiyat değişimi. …….…9
Şekil 2.5 : Sırasıyla potasyum içeren ve potasyum içermeyen şeker pancarı. ...……..……..…..11
Şekil 2.6 : Bitkilerde potasyum döngüsü. ……13
Şekil 2.7 : Kristalize KCl üretimi akım şeması. ……....15
Şekil 2.8 : Potas içeren tuz yatağı oluşumu. ……..16
Şekil 2.9 : Basitleştirilmiş liç prosesi. ...……..….23

Şekil 3.1 : Tuvenan cevher numunesi. ...……..…….25
Şekil 3.2 : BSE görüntü analizi sonucu. ...……..……..25
Şekil 3.3 : Tuvenan cevher mineral serbestleşme analizi sonucu. ...…….……27
Şekil 3.4 : Tuvenan cevher XRD analiz sonucu. ...……...29
Şekil 3.5 : Tuvenan cevher DTA-TGA analiz sonucu. ...……..30
Şekil 3.6 : $CaCl_2$ tuzu DTA-TGA analizi sonucu. ...……31
Şekil 3.7 : NaCl tuzu DTA-TGA analizi sonucu. ...…….….31
Şekil 3.8 : $MgCl_2$ tuzu DTA-TGA analizi sonucu. ...……..……..32
Şekil 3.9 : $CaCO_3$ tuzu DTA-TGA analizi sonucu. ...…….……..…….32
Şekil 3.10 : Jips numunesi DTA-TGA analizi sonucu. ……..……33
Şekil 3.11 : Numune hazırlamada kullanılan kırıcılar (a) Çeneli kırıcı (b) Konili kırıcı (c) Merdaneli kırıcı. ...…….....33
Şekil 3.12 : Numune öğütmede kullanılan değirmen ve bilyalar. ……..……34
Şekil 3.13 : Sırasıyla Protherm marka fırın ve Nabertherm marka fırın. ……34
Şekil 3.14 : Sırasıyla liç deney düzeneği ve vakum filtre seti. ……35
Şekil 3.15 : Genel akım şeması. ...…….……35

Şekil 4.1 : $CaCl_2$ tuzu kullanılarak elde edilen potasyum çözünme verimleri. ….38
Şekil 4.2 : $CaCl_2$ ile kullanılarak optimum şartlarda yapılan deneye ait sırasıyla ısıl işlem öncesi (solda) ve ısıl işlem sonrası (sağda) numuneler. ...……...…38
Şekil 4.3 : Liç sonrası elde edilen katı atık numunesinin XRD sonucu. …..…….39
Şekil 4.4 : $CaCl_2$ ve NaCl tuzlarının karışımı ile elde edilen potasyum çözünme verimleri. ...……40
Şekil 4.5 : Feldspat-$CaCl_2$-NaCl karışımı sırasıyla ısıl işlem öncesi ve ısıl işlem sonrası numuneler. ...……...…41
Şekil 4.6 : Liç sonrası elde edilen katı atık numunesinin XRD sonucu. …..…….41
Şekil 4.7 : $MgCl_2$ ile yapılan karışımı sırasıyla ısıl işlem öncesi ve ısıl işlem sonrası. ...…….……....…..43

Şekil 4.8 : Liç sonrası elde edilen katı atık numunesinin XRD sonucu. …..…….**43**
Şekil 4.9 : Sadece jips kullanılarak yapılan deneyin katı atık XRD analizi. ……..……...…….**45**
Şekil 4.10 : Jips ve NaCl ile yapılan deneylerde ısıl işlem sıcaklığı deneyleri sonuçları. ..……...…….**46**
Şekil 4.11 : Farklı jips oranları ile yapılan deneylere ait sonuçlar. ……...…..**48**
Şekil 4.12 : Optimum sonuçların elde edildiği deneyde kullanılan karışım. …...…**48**
Şekil 4.13 : Farklı jips oranlarında yapılan deney numunesi sırasıyla ısıl işlem öncesi ve ısıl işlem sonrası. ...…….....**49**
Şekil 4.14 : Farklı NaCl oranlarında yapılan deney numunesi sırasıyla ısıl işlem öncesi ve ısıl işlem sonrası. ...…….**49**
Şekil 4.15 : Optimum koşullarda elde edilen liç sonrası katı atık XRD analizi. ….**49**
Şekil 4.16 : Ekonomik değerlendirme için akım şeması. ……...…….**50**

K-FELDSPAT CEVHERLERİNDEN POTASYUM TUZLARININ ALTERNATİF KATKI MADDELERİ İLE KAZANIMI

ÖZET

Ülkemizde önemli ihracat kalemlerinden biri olan feldspat yerkabuğunda yaygın rezerve sahiptir. Temel kullanım alanları arasında seramik ve cam endüstrileri gelmektedir. Rutil, demir ve titan gibi safsızlıklar ile birlikte bulunan feldspat cevherinin işletilebilir rezerve sahip olmak için demir içeriğinin belirli bir miktar altında olması gerekmektedir. Ülkemizde üretimi yapılan Na-Feldspat ve K-Feldspat yatakları Çoğunlukla Aydın, Muğla, Manisa ve Kütahya illerinde bulunmaktadır.

Son zamanlarda üzerinde birçok çalışma yapılan potas üretimi için potasyum feldspat mineralleri en uygun potasyum kaynağı olarak bulunmaktadır. Potasyum tuzlarının genel olarak tanımlanmasında kullanılan potas, gübre endüstrisinde çok önemli bir paya sahiptir. Potasyum bitki gelişimi için gerekli olan 4 ana elementten biridir. Potasyumlu gübreler toprak kalitesini arttırarak bitkilerin birçok biyolojik, fizyolojik ve metabolik işlevinde yardımcı olmaktadır. Potas üretimi göllerden yapılacağı gibi geleneksel madencilik yöntemleri ve çözelti madenciliği uygulanarak da üretilebilmektedir. Bunların yanı sıra yüksek K_2O içeriğine sahip olan feldspat numuneleri ile çeşitli katkı maddeleri kullanılarak ısıl işlem ve sonrasında çözündürme (liç) işlemlerinin uygulandığı birçok çalışma bulunmaktadır. Yapılan bütün çalışmalar laboratuvar çaplı olup bu konuda çalışan bir tesis bulunmamaktadır.

Bu tez kapsamında Kırşehir-Buzlukdağ Bölgesi'nde bulunan yüksek muskovit içeren K-Feldspat cevherinden çeşitli katkı maddeleri kullanılarak ekonomik bir şekilde potasyum klorür eldesi üzerine çalışılmıştır. Tez kapsamında $CaCl_2$, NaCl, $MgCl_2$, $CaCO_3$ ve $CaSO_4$ katkı maddeleri kullanılarak çeşitli kombinasyonlar ile deneyler gerçekleştirilmiştir.

Yapılan deneyler ile $CaCl_2$ tuzu kullanılarak %88,42 potasyum çözünme verimi elde edilirken $CaSO_4$-NaCl karışımı ile %92,98 potasyum çözünme verimine ulaşılmıştır. $CaCl_2$ tuzu kullanılarak yapılan deneylerde 1:1,5 Feldspat:$CaCl_2$ oranı ve 850 °C ısıl işlem sıcaklığı optimum koşullar olarak belirlenmiştir. $CaSO_4$-NaCl karışımı ile yapılan deneylerde ise 1:1,25:1,5 Feldspat:$CaSO_4$:NaCl oranı ve 1000 °C ısıl işlem sıcaklığı ile en yüksek verim elde edilmiştir. Yapılan diğer karışımlar ile olumlu sonuçlar elde edilememiştir.

Tez kapsamında çoğunlukla ısıl işlem şartları üzerine çalışılmıştır ve liç prosesi için koşullar sabit tutulmuştur. Elde edilen optimum sonuçlar baz alınarak yapılan maliyet hesabında $CaCl_2$ tuzu yerine kullanılabilecek $CaSO_4$-NaCl karışımının daha ekonomik olduğu belirlenmiştir.

EXTRACTION OF POTASSIUM SALTS FROM K-FELDSPAR ORES WITH ALTERNATIVE ADDITIVES

SUMMARY

Feldspar, one of the important export items in our country, has widespread reserves in the earth's crust. Its main areas of use are ceramic and glass industries. The iron content of feldspar ore with impurities such as rutile, iron and titanium must be below a certain amount in order to have an exploitable reserve. N-Feldspar and K-Feldspar deposits produced in our country are mostly located in Aydın, Muğla, Manisa and Kütahya provinces.

Potassium feldspar minerals are found as the most suitable potassium source for potash production, on which many studies have been conducted recently. Potash, which is used in the general definition of potassium salts, has a very important share in the fertilizer industry. Potassium is one of the four essential elements for plant growth. Potassium fertilizers increase soil quality and help plants in many biological, physiological and metabolic functions. Potash production can be made from lakes, as well as by applying traditional mining methods and solution mining. In addition to these, there are many studies in which feldspar samples with high K_2O content and roasting using various additives and then dissolving (leaching) are applied. All studies are laboratory-scale and there is no facility working on this subject.

Within the scope of this thesis, it has been studied to obtain potassium chloride economically by using various additives from high muscovite containing K-Feldspar ore in Kırşehir-Buzlukdağ Region. Within the scope of the thesis, experiments were carried out with various combinations using $CaCl_2$, NaCl, $MgCl_2$, $CaCO_3$ and $CaSO_4$ additives.

With the experiments performed, 88.42% potassium dissolution efficiency was obtained by using $CaCl_2$ salt, while 92.98% potassium dissolution efficiency was achieved with $CaSO_4$-NaCl mixture. In experiments using $CaCl_2$ salt, 1:1.5 Feldspar: $CaCl_2$ ratio and 850 °C roasting temperature were determined as optimum conditions. In experiments with $CaSO_4$-NaCl mixture, the highest efficiency was obtained with 1: 1.25:1.5 Feldspar: $CaSO_4$: NaCl ratio and 1000 °C roasting temperature. Positive results could not be obtained with other mixtures.

Within the scope of the thesis, mostly the roasting conditions were studied and the conditions for the leaching process were kept constant. It was determined that $CaSO_4$-NaCl mixture, which can be used instead of $CaCl_2$ salt, is more economical in cost calculation based on the optimum results obtained.

1. GİRİŞ

Geniş kullanım alanına ve rezerve sahip endüstriyel mineraller birçok sektör için hammadde ihtiyacını karşılamaktadır. Ülkemizde bolca rezerve sahip olan endüstriyel mineral sınıfından feldspat cevheri seramik ve cam sanayi başta olmak üzere birçok alanda kullanım alanını bulunmakla beraber Türkiye ihracat kalemlerinde önemli bir paya sahiptir.

Genellikle rutil, demir, titan gibi safsızlıkları içeren feldspat cevheri endüstride kullanılabilmesi için yüksek safsızlığa sahip olması gerekmektedir. Rezerv içeriğine göre çeşitli yöntemler kullanılarak zenginleştirilen feldspat cevheri yaygın olarak flotasyon yöntemi ile zenginleştirilmektedir. Birçok minerale sahip olan feldspatın ticari olarak kullanılan mineralleri plajioklaz feldspat grubundan albit ve alkali feldspat grubundan mikroklindir. K_2O içeriği yüksek olan mikroklin minerali potasyum kaynağı olarak birçok endüstriye hammadde sağlama olanağına sahiptir. Son zamanlarda mikroklin mineralinden potas eldesi üzerine yapılan birçok çalışma mevcuttur.

Potas olarak tanımlanan KCl ve birçok potasyum tuzları kimya ve gübre endüstrilerinde kullanım alanı bulmaktadır. Özellikle bitkilerin gelişmesini, büyümesini ve korunmasını sağlayan potasyumlu gübreler potasın kullanım alanının %90'ını oluşturmaktadır. Bitkiler için oldukça önemli biyolojik, fizyolojik işlevlere sahip olan potasyum potasyumlu gübreler ile sağlanmaktadır. Ülkemizde potas üretimi bulunmamakla beraber gübre hammaddeleri açısından dışa bağımlı bir ülke konumdayız.

Dışa bağımlılığı azaltmak ve gübre fiyatlarını düşürerek tarım sektörünü kalkındırmak amacıyla ekonomik olarak potas üretimi üzerine yapılan çalışmalar mevcuttur. Fakat yapılan çalışmalar kapsamında kullanılan $CaCl_2$ tuzunun fiyatının yüksek olması nedeniyle ekonomik bir proses elde edilememektedir. Bu kapsamda $CaCl_2$ tuzu yerine kullanılabilecek veya $CaCl_2$ tuzunun miktarını azaltabilecek proses üzerine çalışmalar gerçekleştirilmelidir.

Bu çalışma kapsamında Kırşehir-Buzlukdağ Bölgesi'nden Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü'ne gelen numuneden ekonomik olarak KCl eldesi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışma kapsamında $CaCl_2$ yerine alternatif olabilecek tuz ve tuz karışımları denenmiştir.

2. TEORİK BİLGİLER

2.1. Feldspat

En çok seramik ve cam endüstrisinde kullanım alanı bulunan alümina silikat formundaki feldspat minerali yaygın olarak bulunmakla beraber yerkabuğunun yaklaşık %60-65'ini oluşturmaktadır (TMMOB Maden Mühendisleri Odası, 2010). $XAl_{(1-2)}Si_{(3-2)}O_{(8)}$ genel formülüne sahip olan feldspat minerali başlıca sodyum, potasyum ve kalsiyum içeriklerine sahip olup alkali içeriklerine göre tanımlanmaktadırlar. %10'dan fazla K_2O içeriğine sahip olanlar K-Feldspat olarak adlandırılırken %7'den fazla Na_2O içeriğine sahip olanlar Na-Feldspat olarak adlandırılmaktadır (MTA, t.y.). 239 milyon ton Na-Feldspat ve K-Feldspat rezervi ile dünyada %10'luk paya sahip olan Türkiye'de Na-Feldspat yatakları Aydın-Çine ve Muğla-Milas bölgelerinde pegmatit tipi K-Feldspat yatakları Kütahya-Simav, Manisa-Demirci ve Manisa-Gördes bölgelerinde bulunmaktadır (Devlet Planlama Teşkilatı, 2018). Türkiye'de bulunan feldspat yatakları Şekil 2.1'de verilmiştir.

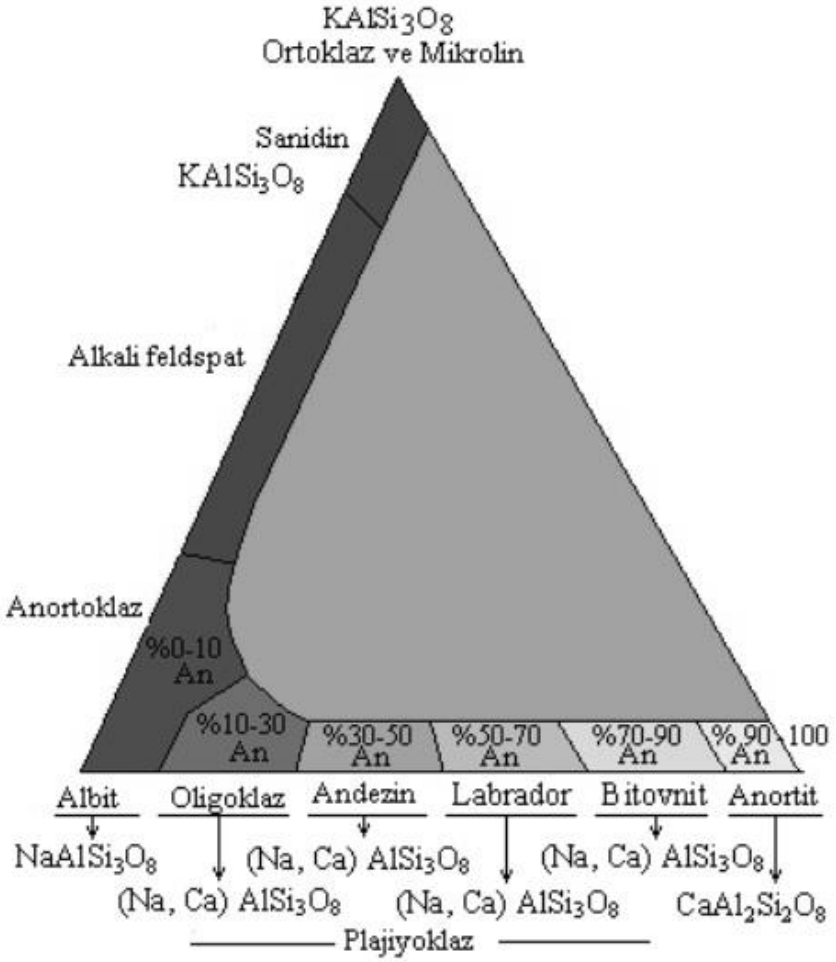
Şekil 2.1: Türkiye feldspat yatakları (MTA, t.y.).

Başlıca alkali feldspatlar ve plajioklaz feldspatlar olarak ikiye ayrılan feldspat grubu mineraller ortoklaz ($KAlSi_3O_8$), albit ($NaAlSi_3O_8$) ve anortit ($CaAl_2Si_2O_8$) olarak kimyasal bileşimlerine göre de ayrılmaktadır (Çelebioğlu ve Türeli, 2001). Ortoklaz,

albit ve anortit arasındaki kimyasal bileşimi açıklayan faz diagramı Şekil 2.2'de ve feldspat grubu mineralleri ise Çizelge 2.1'de verilmektedir.

Çizelge 2.1: Feldspat grubu mineralleri (MTA, t.y.).

Alkali Feldspatlar		**Plajioklaz Feldspatlar**		
Mineral	**Kimyasal bileşim**	**Mineral**	**Kimyasal bileşim**	**Anortit miktarı, %**
Ortoklaz	$KAlSi_3O_8$	Albit	$NaAlSi_3O_8$	0-10
Mikroklin	$KAlSi_3O_8$	Oligoklas	$(Na,Ca)(Al,Si)_4O_8$	10-30
Sanidin	$(K,Na)AlSi_3O_8$	Andezin	$(Na,Ca)(Al,Si)_4O_8$	30-50
Anortoz	$(K,Na)AlSi_3O_8$	Labrador	$(Na,Ca)(Al,Si)_4O_8$	50-70
Albit	$NaAlSi_3O_8$	Bitovnit	$(Na,Ca)(Al,Si)_4O_8$	70-90
		Anortit	$CaAl_2Si_2O_8$	90-100



Şekil 2.2: Feldspat faz diagramı (TMMOB Maden Mühendisleri Odası, 2010).

Sedimanter, magmatik ve metamorfik kayaç yapılarında bolca bulunan feldspatın ticari olarak üretiminin yapılabildiği kayaç türleri pegmatitler, aplitler, feldspat filonları, alaksit, grafik granit, pertit, feldispatik kumlar ve altere granitlerdir (Devlet Planlama Teşkilatı, 2001). Rutil, sfen, mika, demir ve titan gibi safsızlıklar ile birlikte doğada bulunan feldspat minerali endüstride kullanılabilmek adına cevherin özelliklerine bağlı olarak flotasyon, manyetik/elektrostatik ayırma ve yoğunluğa bağlı zenginleştirme yöntemleri kullanılarak tenörünün arttırılması gerekmektedir (TMMOB Maden Mühendisleri Odası, 2010). Türkiye'de feldspatların yaklaşık %90'ı seramik ve cam sanayiinde kullanılırken daha birçok kullanım alanı mevcuttur. Cam sanayiinde başlıca alümina kaynağı olarak kullanılan feldspat cam hamurunun erime sıcaklığını düşürmek amacıyla cam hamurunun %5-15'ini oluşturacak şekilde kullanılır. Seramik sanayiinde pişirme sırasında sıvı oluşum sıcaklığını düşürmesi nedeniyle kullanılmaktadır. Yüksek viskoziteye sahip eriyik oluşturan ve pişirme sırasında oluşabilecek bozulmalara karşı mukavemeti sağlayan K-Feldspat kullanımı seramik endüstrisinde yaygındır. Feldspatlar eritici özelliklerinden dolayı elektrod kaplamasında da kullanılmaktadır. Feldspatlar katkı maddesi olarak ise 20-30 mikron boyutlarında boya sanayiinde kullanılır. Kalsiyum karbonat ve barite alternatif olarak kullanılan feldspat dış cephe boyalarında, sıva ve plaster gibi aside dayanıklı mamüllerde, anti-korozif boyalarda ve renk stabilitesinde avantaj sağlamaktadır. Bunların yanısıra feldspatın dolgu malzemesi olarak plastik sanayiinde ve süstaşı olarak kullanımı da mevcuttur (Çelebioğlu ve Türeli, 2001). Cam ve seramik sanayiinde kullanılan feldspat standartları Çizelge 2.2'de verilmektedir.

Çizelge 2.2: Feldspat üretim standartları (Devlet Planlama Teşkilatı, 2001).

Bileşen	Cam sanayi, %	Seramik sanayi, %
CaO	0,2-0,4	1-1,5
SiO_2	68-69	63-64
Al_2O_3	18-20	20-21
Fe_2O_3	max 0,1	max 0,3
TiO_2	max 0,15	max 0,1
MgO	0,3-0,5	0,5-0,7
K_2O	0,3-0,4	max 8,5
Na_2O	min 9	2,5-3,5

Türkiye başta olmak üzere Çin, İtalya, Hindistan ve Tayland dünyada feldspat üretiminde en büyük paya sahip ülkelerdir (Ghalayini, 2020). Dünyadaki feldspat üretimi ve rezervleri Çizelge 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.3: Feldspat üretimi ve rezervleri (Ghalayini, 2020).

	Üretim (ton)		**Rezerv**
	2018	**2019**	**(milyon ton)**
Türkiye	7500	7500	240000
Hindistan	4000	4000	320000
İtalya	4000	4000	---
Çin	2000	2000	---
Tayland	1500	1600	235000
İran	750	750	630000
Güney Kore	617	650	240000
İspanya	600	600	---
Amerika	550	470	---
Çekya	449	460	23000
Malezya	420	420	---
Mısır	400	400	1000000
Brezilya	400	400	15000
Diğer	2380	2400	---
TOPLAM	25600	26000	

2.2. Potas

Başlangıçta ağaç küllerinin çözündürülmesi ile elde edilen potasyum karbonat bileşiği potas olarak tanımlanmaktaydı. Günümüzde ise potas terimi çoğunlukla potasyum klorür tuzu olarak bilinmekle beraber potasyum sülfat, potasyum nitrat, potasyum ve magnezyum sülfat ($K_2SO_4.2MgSO_4$) gibi potasyum bileşiklerini tanımlamak için kullanılır ve doğada bulunan potasyum tuzları ise potas cevheri olarak isimlendirilmektedir (Garrett, 2012). Çözünebilir potas mineralleri Çizelge 2.4'te verilmektedir.

Çizelge 2.4: Çözünebilir potas mineralleri (Bulatovic, 2015).

Mineral	Formül	Potas (%K_2O)
Sylvite	KCl	63,2
Glasserite	$3K_2SO_4 \cdot Na_2SO_4$	37,5
Rinneite	$FeCl_3 \cdot 3KCl \cdot NaCl$	34,7
Douglasite	$2(KCl \cdot H_2O) \cdot FeCl_2$	32,2
Sylvinite	$NaCl \cdot KCl$ (mekanik karışım)	30,2
Syngenite	$CaSO_4 \cdot K_2SO_4 \cdot H_2O$	28,8
Schoenite	$K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 6H_2O$	23,5
Leonite	$K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 4H_2O$	23,3
Langbeinite	$2MgSO_4 \cdot K_2SO_4$	22,7
Kainite	$MgSO_4 \cdot KCl \cdot 3H_2O$	18,9
Carnallite	$KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$	16,9
Polyhalite	$K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 2CaSO_4 \cdot 2H_2O$	15,6
Hartsal	$NaCl \cdot KCl \cdot MgSO_4 \cdot H_2O$	13,9
Krugite	$KSO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 4CaSO_4 \cdot 2H_2O$	10,8
Kaliborite	$KMg_2B_{11}O_{19} \cdot 9H_2O$	7,5

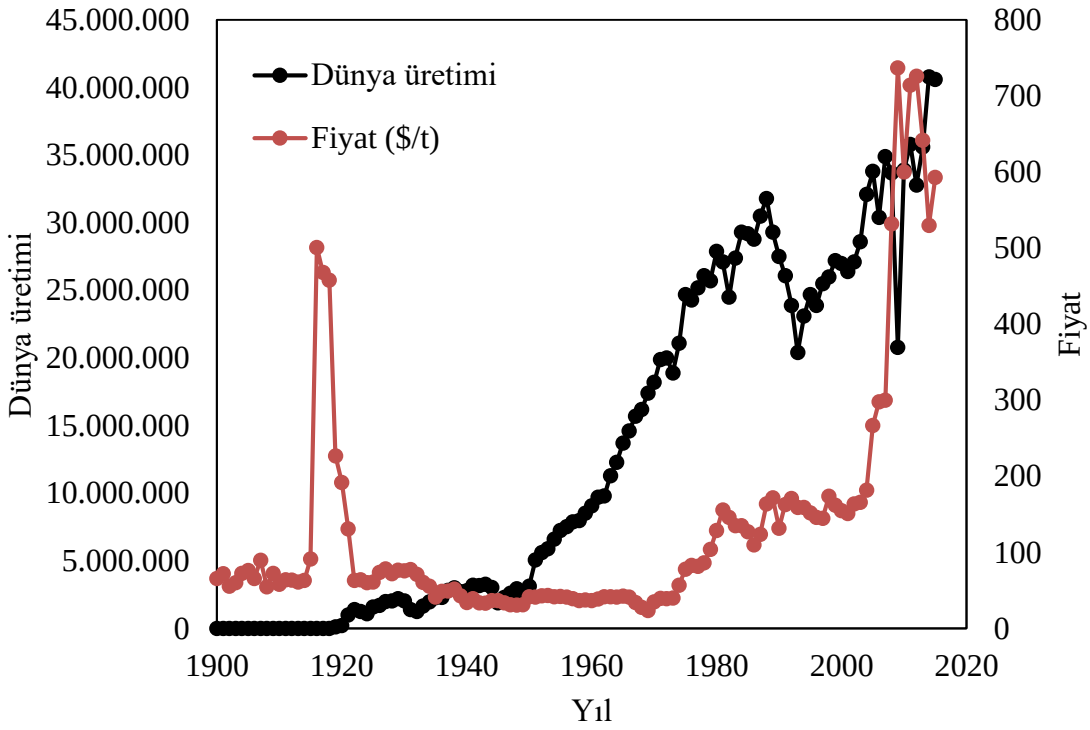
2.2.1. Potas üretimi ve rezervleri

Kanada, Almanya, Fransa, İspanya ve Rusya başlıca potas yataklarına sahiptir ve potas yataklarının çoğunluğu halit (NaCl) yatakları ile ilişkilidir (Bulatovic, 2015). Potas rezervi ve üretimi ile dünya üzerinde söz sahibi ülkeler arasında Kanada başta gelmektedir. Potas yataklarının dünya üzerinde dağılımı Şekil 2.3'te, 1900-2015 yılları arasında dünya potas üretimi ve fiyat değişimi Şekil 2.4'te ve dünyadaki potas üretimi ve rezervleri Çizelge 2.5'te verilmektedir.

Şekil 2.3: Potas yatakları dağılımı (Orris, Cocker ve Dunlap, 2010).

Çizelge 2.5: Dünya potas üretimi ve rezervleri (Jasinski, 2020).

	Üretim		Rezerv (t)
	2018	**2019**	
Kanada	13800	13300	4200000
Belarusya	7200	7000	3300000
Rusya	7170	6800	---
Çin	5000	5000	---
Almanya	3200	3000	---
İsrail	2200	2000	---
Ürdün	1480	1500	---
Şili	1200	950	---
İspanya	700	600	---
Amerika	520	510	970000
Brezilya	200	200	310000
Laos	200	200	---
Diğer	351	270	1500000



Şekil 2.4: Dünya potas üretimi ve fiyat değişimi (Buckingham et al., 2015).

Potas kullanımında zaman zaman iniş ve çıkışlar olmasına rağmen 1961 yılında 8,8 milyon ton olan potas kullanımı 2008 yılında 29,1 milyon tona yükselmiştir (Al Rawashdeh, Xavier-Oliveira ve Maxvell, 2016). Artan talep doğrultusunda ise dünya potas üretimi Şekil 2.4'te görüldüğü üzere artış göstermektedir.

2.2.2. Potas kullanım alanları

Tarımda önemli bir girdi olan potasın kullanım alanlarının %90'ını gübre üretimi oluşturmaktadır. Besinlerde su tutma, besin değerini arttırma, mahsüllerin gıda direncini arttırma ve tadını iyileştirme özelliklerinden dolayı potaslı gübreler kullanılmaktadır. Potasın çok yaygın olmayan kullanım alanları ise endüstriyel su arıtması, hayvan yemi takviyeleri, çimento endüstrisi, yangın söndürücüler ve tekstil üretimidir (Al Rawashdeh, Xavier-Oliveira ve Maxvell, 2016). Potasyum bitkilerde birçok metabolik, biyokimyasal ve fizyolojik işlevlere sahiptir. Potasyumun bitkilerde işlevleri şunlardır (Kacar, 2005);

- Katalizör etkisi gösteren pirüvatkinaz, fosfofrüktokinaz, nişasta sentenaz vb. birçok enzimin aktivitesini arttırır.
- Metabolik enerji kaynağı olarak fotosentezin ışık tepkimelerinde ATP sentezinde görev alır ve gıda oluşumunu etkiler.
- Nişasta sentezini arttırarak danede nişasta birikiminin artmasını sağlar.
- Ksilem iletim borularında suyun ve nitrat, fosfat, kalsiyum, magnezyum, amino asit gibi besin elementlerinin taşınması üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.
- ATP oluşumunda rol oynayan potasyum fotosentez ürünlerinin taşınmasına ve depolanmasına yardım ederek dane ve meyve oluşumunu etkiler.
- Protein sentezinin tüm aşamalarında önemli bir role sahip olan potasyum bitkilerin büyümesini ve gelişmesini sağlayan proteinlerin kapsamlarını arttırır. Bitki hücrelerinin genetik kodlaması potasyum noksanlığında mümkün olmamaktadır.
- Aktif absorpsiyon ile alınan potasyum osmotik potansiyeli arttırarak bitkinin su almasını sağlayarak bitkinin solmasını engeller.
- Fazla dallanma ve yan kök oluşumunu arttıran potasyum bitkilerde kök gelişmesini hızlandırmaktadır. Yetersiz potasyum olması durumunda ise

azot miktarı artar ve karbonhidrat miktarı düşer. Bu durumda bitkinin büyümesi olumsuz etkilenir.

- ~ Karbonhidrat sentezinde etkili olan potasyum karbonhidrat içeriğini arttırarak sapın gelişmesini sağlar ve yana yatmaları azaltır.
- ~ Sklerenkima hücrelerinin miktarının artmasını sağlayan potasyum pamuk gibi lif bitkilerinin hücre duvarlarının kalınlaşmasında etkilidir.
- ~ Potasyum bitkilerin soğuğa dayanıklılıklarını arttırmaktadır.
- ~ Bitkilerin olgunlaşma sürelerini kısaltmak için potasyuma ihtiyaç duyulmaktadır.
- ~ Serbest azotun bitkilerde protein sentezinde kullanılması için potasyum gereklidir. Potasyum yokluğunda ise serbest azot amino asitlere dönüştürülmektedir.
- ~ Hastalık ve zararlılara karşı potasyum bitkinin dayanıklılığını arttırmaktadır.

Bitkilerde potasyum kullanımının ve potasyum eksikliğinin etkilerine örnek Şekil 2.5'te verilmektedir.

Şekil 2.5: Sırasıyla potasyum içeren ve potasyum içermeyen şeker pancarı (Johnston, 2003).

Toprakta kalsiyum ve magnezyum fazlalığı potasyum alınmasına engel olur. Bitki bünyesinde potasyumun yeterli verimliliğini gösterebilmesi için yeteri kadar azotun bulunması gerekmektedir. Düşük potasyum bitkinin lezzetsiz olmasını sağlar. Yeteri kadar potasyum alamayan bitkinin meyveleri şekilsiz olmaktadır. Yaprakları zamanla küçülerek renk değişikliği başlar. Potasyum eksikliği yapraklarda klorofilin teşekkülünü engeller ve ilk yaşlı yapraklarda görülmeye başlar. Şiddetli potasyum

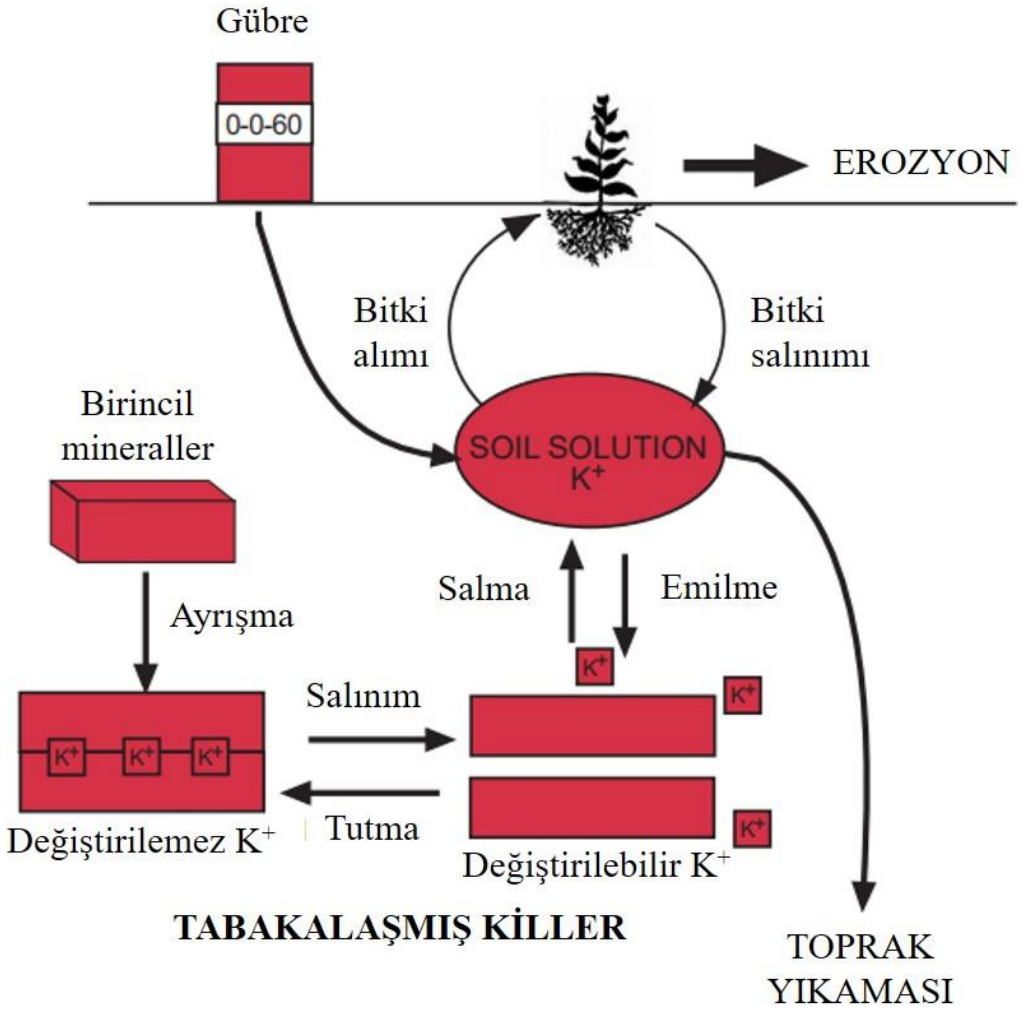
noksanlığı ile önce kahverengi daha sonra siyaha dönüşür. Meyve kalitesinde düşüş olur ve kışın olabilecek don hadiselerinde görülen zarar artar. Meyve türleri içerisinde potasyum eksikliğine şeftalide çok rastlanmaktadır. Aynı şartlarda yetiştirilen elmalarda potasyum noksanlığı görülmez iken şeftalide bu eksiklik açık bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Bunun nedeni şeftalinin potasyum ihtiyacının daha fazla olmasıdır. Potasyum fazlalığı ise bitki de, magnezyum ve kalsiyum noksanlığına sebep olabilmektedir.

Potasyumun bazı bitkiler üzerindeki etkileri şu şekilde sıralanabilir:

- **Baklagil:** Meralarda baklagil bitkilerinin daha uzun süre sağlıklı ve güçlü şekilde yetişmelerine yardımcı olarak yem bitkilerinin daha kaliteli olmalarını sağlar.
- **Mısır:** Mısır ve öteki dane bitkilerinde danelerin üniform şekilde erken olgunlaşmalarını sağlayarak kaliteyi artırır.
- **Soya fasulyesi:** Bitkilerde hastalık ve zararlılara karşı dayanıklılığı artırırken soya fasulyesi ve benzeri bitki tohumlarında büzülmeye engel olarak kaliteyi olumlu şekilde artırır.
- **Narenciye:** Narenciyelerde potasyum meyvelerin rengine, görünümüne, şekline, tadına olumlu etki yaparak kaliteyi artırır. Narenciyelere uygulanan potasyum, meyve büyüklüğünü, meyve rengini, meyve suyundaki asit/şeker oranı ile çözünebilir katı madde ve C vitamini miktarlarını artırmak suretiyle kaliteyi olumlu şekilde etkiler.
- **Üzüm:** Üzümün pazarlanma oranını artırmak suretiyle potasyum kaliteyi yükseltir. Yeterli düzeyde potasyumlu gübre uygulanan bağlarda salkımlar üniform şekilde gelişirken, salkımlarda büzülmüş ve küçülmüş dane miktarı daha az olur. Olgunlaşma üniform şekilde gerçekleşir.
- **Muz:** Muzun ürün miktarı ve kalitesi üzerine potasyumun etkisi önemlidir. Uygulanan potasyum, muzda meyve ağırlığını artırırken salkımlarda yer alan meyve sayısının da artmasına etki yapar. Potasyum muzun depolanma özelliğini artırırken pazarlanacak yerlere taşınma sırasında oluşacak kaybın da en aza inmesine yardımcı olur.
- **Çay:** Genç çay bitkisinin gelişmesinde ve sağlıklı ocakların oluşmasında potasyumun önemi büyüktür. Potasyum uygulanan çaylıklarda hasada uygun filiz oluşumu sağlıklı ve hızlıdır. Yeterli potasyum içermeyen çaylıklarda yeşil

yaprakların hasat aralıkları yeterli potasyum içeren çaylıklara göre daha uzundur. Yeterli potasyum içeren çay bahçelerinden toplanan yaş çay yapraklarından üretilen siyah ve yeşil çayda randıman daha yüksek olduğu gibi aroma, renk yönünden de çaylar daha kalitelidir.

Bitkiler potasyumu 1-10 ppm aralığındaki çözeltilerden absorbe edebilmektedir. Potasyum bitkilerin bünyesinde potasyum çözeltisi ve değiştirilebilir potasyum formunda bulunmaktadır (Korb, Jones ve Jacobsen, 2002). Bitkilerdeki potasyum döngüsü Şekil 2.6'da verilmektedir.



Şekil 2.6: Bitkilerde potasyum döngüsü (Korb, Jones ve Jacobsen, 2002).

Gübrelerde kullanılan potas bileşikleri dört tane olup potasyum ihtiyacı bitki ve toprak analizi yapılarak belirlenmektedir (Rawat, Sanwal, ve Saxena, 2016). Gübrelerde kullanılan potas bileşikleri ve içerikleri Çizelge 2.6'da verilmektedir.

Çizelge 2.6: Gübrelerde kullanılan potas bileşikleri ve içerikleri (Rawat, Sanwal, ve Saxena, 2016).

Potas Bileşiği	İçerik
Potasyum klorür	%60-63 K_2O, %46 Cl
Potasyum sülfat	%48-53 K_2O, %17-18 S
Potasyum magnezyum sülfat	%20-22 K_2O, %21-22 S, %10-11 Mg
Potasyum nitrat	%44 K_2O, %13 N

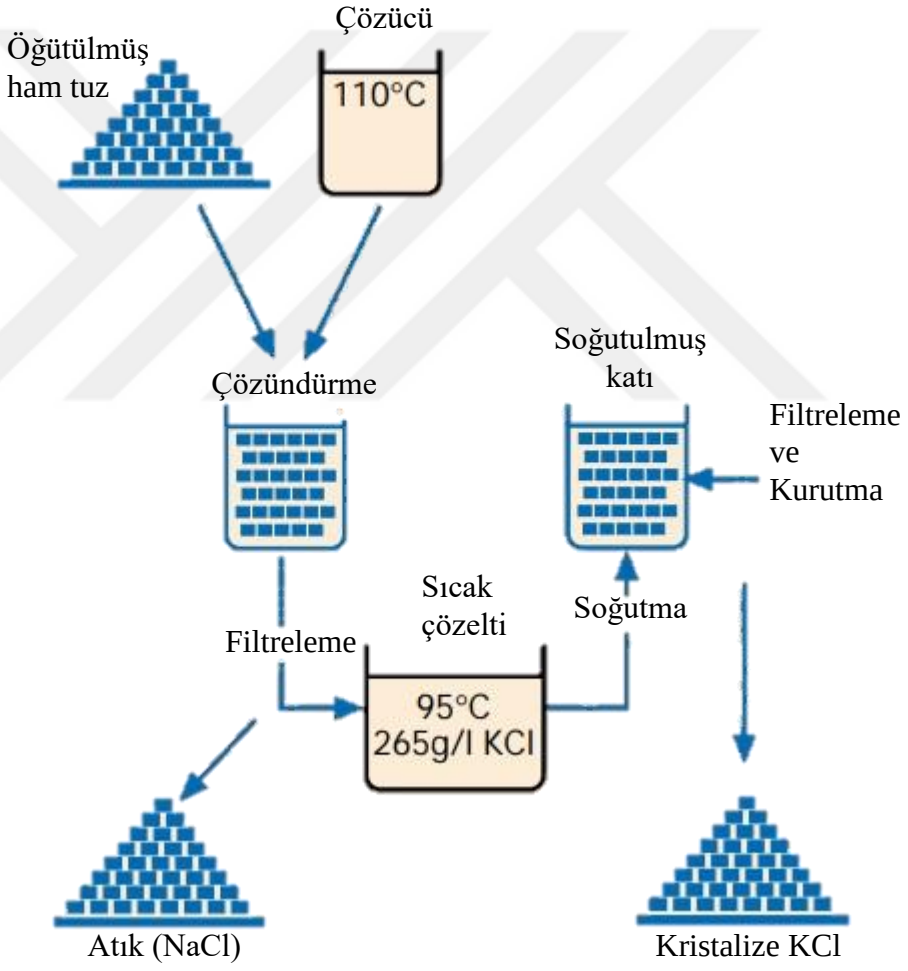
Türkiyede ise kullanılan gübre çeşitleri azotlu gübreler, potasyumlu gübreler ve fosforlu gübrelerdir. Türkiye'de eskiden toprakların potasyumca zengin olmasından dolayı potasyumlu gübrelere ihtiyaç duyulmamaktaydı. Fakat günümüzde durum farklıdır ve potasyumlu gübreler kullanılarak ayçiçeği ve muz gibi ürünlerin verimleri arttırılabilmektedir (Şahin, 2016). Türkiye gübre hammaddeleri açısından tamamen dışa bağımlı durumdadır. Türkiye 2000-2017 yılları arası gübre ithalatı Çizelge 2.7'de verilmektedir.

Çizelge 2.7: 2000-2017 yılları arası göre Türkiye gübre ithalatı (bin ton) (TAGEM, 2018).

Gübre çeşidi	Hayvansal/bitkisel gübreler	Azotlu gübreler	Fosfatlı gübreler	Potasyumlu gübreler
2000	2.165	2.739.469	14.181	102.245
2005	2.371	2.413.925	39.691	136.055
2011	4.286	2.415.070	19.208	122.569
2012	4.447	2.358.901	9.469	131.496
2013	3.814	3.285.433	7.215	139.010
2014	5.422	3.528.118	18.952	177.676
2015	5.422	2.979.101	28.622	225.297
2016	3.815	3.349.782	43.632	193.608
2017	4.935	3.962.062	17.423	230.050

2.2.3. Potas üretim yöntemleri

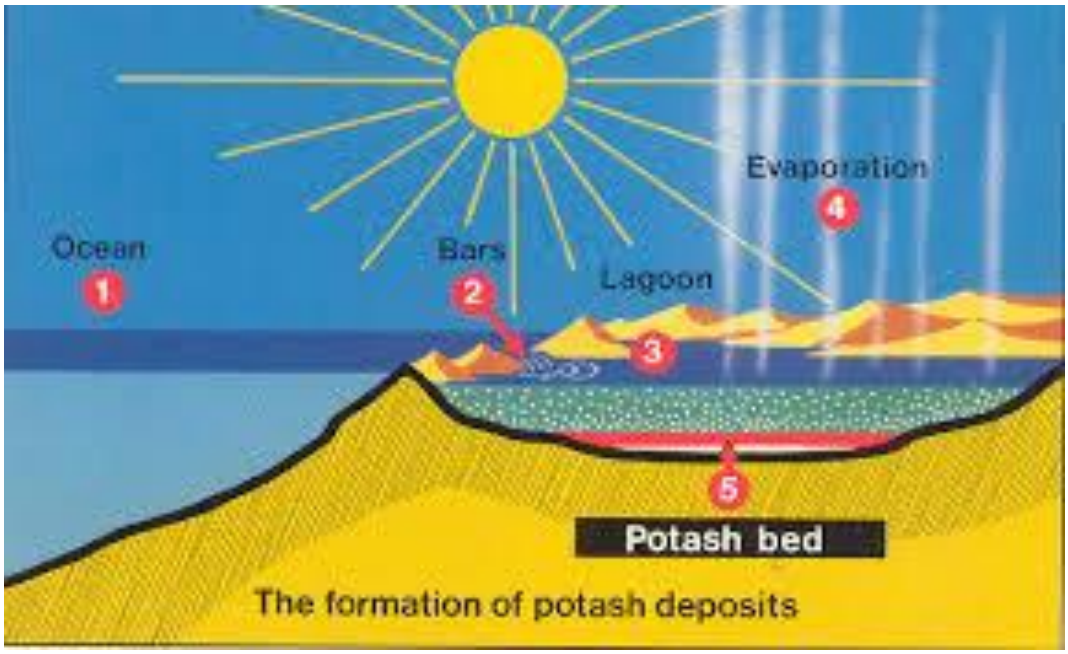
Ağaçların yakılmasıyla ile elde edilen külün çözündürülmesi sonucunda potas eldesi 19. yüzyılın başlarına kadar kullanılan ilk yöntemdir. Günümüzde ise potas üretimi yer altı ve çözelti madenciliği yöntemleri ile üretilmektedir (Prud'homme, 2015). Saskatchewan Eyaleti'nde bulunan yüksek miktardaki rezervin yeryüzünün yaklaşık olarak 1000 m altında bulunmasından dolayı geleneksel kapalı madencilik yöntemleri kullanılarak potas üretimi yapılmaktadır (Gensource Potash Corp., t.y.). Yeraltından çıkan potas cevherinden kristalleşmiş KCl üretimi ile ilgili akım şeması Şekil 2.7'de verilmiştir.



Şekil 2.7: Kristalize KCl üretimi akım şeması (Johnston, 2003).

Geleneksel madencilik yöntemleri kullanılamayacak kadar derinlerde olan potas rezervleri için ise çözünebilir formda olan potasın çözelti madenciliği ile daha pratik ve daha ekonomik bir şekilde üretimi gerçekleştirilebilmektedir. Yer altı madenciliği

ve çözelti madenciliğinin yanı sıra göllerden potas üretimi de yapılabilmektedir. KCl ve diğer tuzlar doğal olarak oluşmuş çözeltiler olan Dead Sea, Great Salt Lake ve Salar de Atacama gibi göllerden de elde edilebilmektedir. Denizde NaCl doğal evaporasyon ile çöktürüldükten sonra konsantre çözelti yıkama tavalarına pompalanan karnalit çökelmekte ve potası kazanmak için flotasyon ve kristalizasyon işlemleri uygulanmaktadır (IPI, t.y.). Potas içeren tuz yataklarının oluşumu Şekil 2.8'de verilmektedir. Fakat üretim yapılabilecek tuz göllerinin sınırlı rezerve sahip olması nedeniyle çok yaygın bir yöntem değildir ve potas üretiminin yaklaşık %15'ini karşılayabilmektedir. Günümüzde göllerden üretim ise Utah, Şili ve Çin'de yapılmaktadır (Kalium Lakes, t.y.).



Şekil 2.8: Potas içeren tuz yatağı oluşumu (Johnston, 2003).

2.2.4. Potas üretimi üzerine yapılan çalışmalar

Artan talep ve azalan rezervler doğrultusunda potas üretimi için alternatif çözümler aranmaya başlanmıştır. Bu kapsamda alternatif minerallerin işlenmesiyle potas eldesi üzerine birçok çalışma yapılmaktadır. Potas üretimi için günümüzde en ideal mineral ise yüksek K_2O içerikli K-Feldspat mineralleridir. K-Feldspattan potas üretimi ile ilgili alınmış birçok patent bulunmaktadır. Ciceri ve diğerleri (2014) tarafından derlenen potas üretimi için alınan patentler Çizelge 2.8'de verilmektedir.

Çizelge 2.8: K-Feldspattan potas üretimi konusunda alınan patentler.

Metod	İşlem	Referans
Yaş işlemler	KF + HF + $CaSO_4$ + T	Doremus (1913)
	KF + H_2SiF_6 + H_2SO_4	Gibbs (1904)
	KF + H_3PO_4	Robertson (1919)
	KF + Na(K)OH + T	Frazer ve diğ. (1916)
	KF + (Na)K_2CO_3(or (Na)KOH) + T + P	Gillen (1917a)
	KF + $CaCO_3$ + T + P	Andrews (1919)
	KF + CaF_2 + H_2SO_4 + T	Foote ve Scholes (1912)
	KF + boraks + (Na)K_2CO_3(or (Na) KOH) + T + P	Gillen (1917b)
	KF + HF (electroliz)	Cushman (1907)
Kuru işlemler	KF + NaCl	Bassett (1913a)
	KF + NaCl + Na_2CO_3	Bassett (1914b)
	KF + NaCl + $CaCO_3$	Rhodin (1900a), Rhodin(1900b)
	KF + NaCl(veya $CaCl_2$) + $CaSO_4$	Morse ve Sargent (1912)
	KF + $NaNO_3$	Blumenberg (1919)
	KF + Na_2SO_4 + Na_2CO_3	Bassett (1913b)
	KF + (K)NaCl + (K)$NaHSO_4$	Thompson (1911)
	KF + (K)NaCl + (K)$NaHSO_4$ + C	Bassett (1914a)
	KF + soda külü (camlaştırma)	Vanderburgh (1864)
	KF + (K)Na_2O	Rody (1919)
	KF + (Na)K_2SO_4 + C	Hart (1913)
	KF + $CaCO_3$ + asit çamuru	Blumenberg (1918)
	KF + $CaCO_3$ (çimento yapımı)	Spencer (1915)
	KF + $Ca_3(PO_4)_2$	Haff (1912)
	KF + $CaCO_3$(veya $Ca(OH)_2$) + CaF_2 + $Ca_3(PO_4)_2$	Klett (1865)
	KF + NaCl + $Ca(OH)_2$	Edwards (1919)
	KF + $Ca_3(PO_4)_2$ + $CaCO_3$	Bicknell (1856)

Çizelge 2.8 (devam): K-Feldspattan potas üretimi konusunda alınan patentler.

Kuru işlemler	KF + CaF_2	Mckirahan (1921)
	KF + $CaCl_2$(veya NaCl) + Fe (veya Fe_2O_3)	Glaeser (1921)
	KF + $CaCl_2$ + $MgCl_2$	Dyson ve Grimshaw(1979)
	KF + $CaCl_2$ + CaO	Blackmore (1894)
	KFS + $CaCl_2$ + CaO	Cushman (1911)
	KF + $CaCl_2$ + $CaCO_3$(veya $MgCO_3$)	Brown (1915)
	KF + $CaSO_4$ (veya $BaSO_4$ veya $SrSO_4$) + $CaCO_3$	Tilghman (1847)
	KF + $BaSO_4$ + C	Hart (1911)
	KF + T	Carpenter (1910)
	KF + T (ardından KOH çözeltisi)	Swayze (1907)
	KF + çimento karışımı + SO_2 (veya O_2)	Schmidt (1916)
	KF + C + Cl_2	Vivian ve Fink (1931)
	KF + Ca(Mg)O (or $Na(K)_2CO_3$) + CO_2	Gelleri (1913)
	KF + $(Na)K_2CO_3$ + H_2O(g) + P	Peacock (1912b)
	KF + K_2SO_4(veya $KHSO_4$) + SO_2	Neil (1912)
	KF + CaO + buhar	Pohl (1910)
	KF + $Ca(OH)_2$ + P	Gibbs (1909)
	KF + CaO + fosfatlı kayaç	Peacock (1912c)
	KF + $CaSO_4$ + C	Swayze (1905)
	KF + $(Na)K_2CO_3$(veya (Na)KOH)	Peacock (1912b)
	KF + $CaCO_3$	Peacock (1912a)
	KF + $CaCO_3$	Brenner ve Scholes (1920)

(KF: K-Feldspat), (T: Sıcaklık), (P: Basınç), (C: Karbondioksit)

Son zamanlarda çeşitli tuzlar ile birçok çalışma bulunmakta olup yapılan çalışmalar laboratuvar çaplıdır. Yapılan çalışmalarda genellikle potasyum feldspat veya nefelinli siyenit kullanılmıştır.

Yuan ve diğerleri (2015) tarafından yapılan çalışmada %13,25 K_2O içerikli feldspat numunesi kullanılarak $CaCl_2$ tuzu ile yapılan deneyler sonucunda %91 potasyum

çözünme verimi elde edilmiştir. Yapılan deneylerde liç işlemleri katı/sıvı oranı 50, liç sıcaklığı 70 °C ve liç süresi 30 dk olacak şekilde sabit koşullarda gerçekleştirilmiş ve ısıl işlem şartlarının etkisi incelenmiştir. Nem oranı, ısıl işlem sıcaklığı ve süresi, feldspatın tane boyutu ve $CaCl_2$/Feldspat oranının etkileri üzerinde çalışılmıştır. %91 verimin elde edildiği optimum sonuçlar ise 50-75 mikron feldspat tane boyutu, 1.15 $CaCl_2$/Feldspat oranı, 900 °C ısıl işlem sıcaklığı ve 40 dk ısıl işlem süresi olarak belirlenmiştir.

Samantray ve diğerleri (2019) %11.42 K_2O içeriğine sahip feldspat numunesi ile $CaCl_2$ tuzu kullanarak gerçekleştirdikleri deneyler sonucunda %80 civarında potasyum çözünme verimi elde etmişlerdir. Yapılan çalışmada $CaCl_2$ miktarı, ısıl işlem sıcaklığı, liç süresi ve liç sıcaklığı üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Optimum şartlar olarak ise 900 °C ısıl işlem sıcaklığı, 1/1 Feldspat/$CaCl_2$ oranı, 30 dk liç süresi ve liç sıcaklığı da oda sıcaklığı olarak belirlenmiştir. Optimum sonuçlar ile elde edilen yüklü çözeltiden %99,5 saflıkta kristalize KCl elde edilmiştir.

Serdengeçti ve diğerleri (2019) $CaCl_2$ tuzu kullanarak gerçekleştirdikleri deneylerde %9,69 K_2O içerikli feldspat numunesi kullanmıştır. Yapılan çalışmada çözücü cinsi, feldspat tane boyutu, $CaCl_2$ miktarı, ısıl işlem sıcaklığı ve ısıl işlem süresi üzerine deneyler gerçekleştirilmiştir ve elde edilen optimum sonuçlar ile %99,8 potasyum çözünme verimi elde edilmiştir. Çözücü cinsi olarak su seçilirken feldspat tane boyutu -106 mikron, 1/1.5 Feldspat/$CaCl_2$ oranı, 850 °C ısıl işlem sıcaklığı ve 60 dk ısıl işlem süresi optimum koşullar olarak seçilmiştir.

Tanvar ve Dhawan (2020) tarafından yapılan çalışmada $CaCl_2$ tuzu ile %9,67 K_2O içerikli feldspat numunesi ile %95 potasyum çözünme verimi elde edilmiştir. %2 sitrik asit kullanılarak 1/10 katı/sıvı oranında, oda sıcaklığında 60 dk süre ile 850 RPM karıştırma hızında liç deneyleri gerçekleştirilmiş ve deneyler sırasında liç koşulları sabit tutulmuştur. Çalışma kapsamında çoğunlukla ısıl işlem kinetiği üzerine çalışılmıştır ve optimum olarak 950 °C ısıl işlem sıcaklığı ve 60 dk ısıl işlem süresi elde edilmiştir.

$CaCl_2$ tuzunun pahalı olmasından dolayı feldspattan KCl eldesi ekonomik olamamaktadır. Bu nedenle faklı kaynaklardan $CaCl_2$ elde edilerek KCl üretimi üzerine de çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin, Jena ve diğerleri (2016) tarafından yapılan çalışmada ise dolaylı olarak $CaCl_2$ üretimi ile %10,89 K_2O içerikli feldspattan

potasyum ekstraksiyonu gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında Ca kaynağı olarak fosfoalçı ve Cl kaynağı olarak ise NaCl tuzu kullanılmıştır. Isıl işlem sırasında fosfoalçı ve NaCl tuzunun tepkimeye girmesiyle $CaCl_2$ oluşumu gerçekleşir ve oluşan $CaCl_2$ feldspat ile tepkimeye girerek KCl oluşumunu sağlar. Feldspat tane boyutu, ısıl işlem sıcaklığı, fosfoalçı ve NaCl oranları üzerine deneyler gerçekleştirilmiştir. Liç süresi ve sıcaklığı verim üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığından üzerine çalışmalar yapılmamıştır. Optimum koşullar olarak -100 mikron tane boyutu, 900 °C ısıl işlem sıcaklığı, 1/1 Feldspat/NaCl ve Feldspat/Fosfoalçı oranı belirlenmiş olup %92,8 potasyum çözünme verimi elde edilmiştir.

Orosco ve diğerleri (2019) kalsit ve klor gazı kullanarak $CaCl_2$ oluşumu sağlayarak %10,28 K_2O içerikli feldspat minerali olan mikroklinden potasyum ekstraksiyonu üzerine çalışmıştır. Deneyler kapsamında %55 CaO içerikli kalsit numunesi kullanılmış ve %97 verimle potasyum ekstraksiyonu gerçekleştirlimiştir. Mikroklin/Kalsit oranı 65/35 olacak şekilde 900 °C ısıl işlem sıcaklığında 120 dk boyunca yapılan ısıl işlem sonucunda potasyum KCl formunda elde edilmiştir ve yan ürün olarak ise anortit oluşumu gözlemlenmiştir.

Kangal ve diğerleri (2019a, 2019b) aynı bölgede bulunan vollastonit ve feldspat numunesi ile çalışmaları gerçekleştirmiştir. %7,57 ve %8,40 K_2O içerikli iki farklı feldspat numunesi optimum şartlarda saf $CaCl_2$ tuzu kullanılarak ısıl işlem ve liç işlemlerinden geçirilmiştir. Deneyler sonucun KCl eldesi sağlanmış fakat elde edilen proses ekonomik olmadığından dolayı aynı bölgede bulunan vollastonit numunesinden $CaCl_2$ eldesi için çalışmalar yapılmıştır. Yüksek kalsit içerikli vollastonit numunesine asit liçi uygulanarak $CaCl_2$ üretimi sağlanmıştır. 1 M HCl kullanılarak -75 mikron boyutlu vollastonit numunesi 60 °C liç sıcaklığında 10 dk boyunca gerçekleştirilen liç sonucunda %92,7 Ca çözünme verimi elde edilmiştir.

Samantray ve diğerleri (2020) yumurta kabukları ve hidroklorik asit (HCl) kullanarak %11,6 K2O içerikli feldspat numunesinden KCl üretimi üzerine çalışmıştır. Yapılan çalışmada kullanılan yumurta kabukları %52,97 CaO içeriğine sahiptir ve 1,5 kat HCl kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında feldspat tane boyutu, yumurta kabuğu miktarı, ısıl işlem süresi ve ısıl işlem sıcaklığı üzerine çalışılmıştır. -45 mikron boyutlu feldspat numunesi ile 18/10 yumurta kabuğu/Feldspat oranında, 900 °C ısıl işlem sıcaklığında ve 30 dk ısıl işlem süresi boyunca yapılan deneyler sonucunda optimum olarak %99 potasyum çözünme verimi elde edilmiştir. Elde edilen

yüklü çözeltiden sodyum perklorat kullanılarak KCl çöktürlümüş ve %99,81 saflıkta kristalize KCl elde edilmiştir.

Diğer yandan proses masraflarını düşürmek için $CaCl_2$ tuzu ile beraber veya yerine klorlu tuzların kullanımı üzerine çalışmalar da mevcuttur. Zhang ve diğerleri (2012) $CaCl_2$ tuzu ile NaCl tuzunun karışımını kullanarak %15 potasyum içeren feldspattan potasyum ekstraksiyonu üzerine çalışılmıştır. Yapılan çalışmada tuzların feldspat numunesine oranları üzerine yoğunlaşılmış olup $CaCl_2$/NaCl oranı sabit tutulmuştur ve $CaCl_2$ miktarı azaltılmaya çalışılmıştır. 60 dk boyunca 800 °C ısıl işlem sıcaklığında 1,8:1,1:0,6 Feldspat:$CaCl_2$:NaCl oranında optimum verim olan %95,5 potasyum çözünme verimi elde edilmiştir.

Orosco ve Ruiz (2015) tarafından MgCl2 tuzu kullanılarak %10,43 K2O içerikli feldspat numunesi ile çalışmalar yapılmıştır. 900 °C ısıl işlem sıcaklığında 1:1 Feldspat-MgCl2 oranında gerçekleştirilen deneyler ile %93 potasyum çözündürme verimi elde edilmiştir. En yüksek verimin elde edildiği koşullarda magnezyum minerali olan forsterit ve enstatit oluşumu da gözlemlenmiştir. Fiyat olarak pahalı olmasına rağmen CaCl2 yerine alternatif olarak MgCl2 tuzunun kullanılmasının nedeni ise daha düşük miktarlarda kullanılmasıdır. CaCl2 tuzuna göre daha az miktarlarda kullanılarak veya diğer tuzlar ile karışım halinde daha ekonomik prosesler elde etmek mümkündür.

Zhong ve diğerleri (2017) yapılan diğer çalışmaların aksine potasyum tuzunu sülfat formunda elde etmiştir. Yüksek safsızlığa sahip kalsit (CaCO3) ve jips (CaSO4) kullanarak %13,91 K2O içerikli -74 mikron boyutlu feldspat numunesinden potasyum sülfat elde edilmiştir. Ortamdaki yoğun Ca+2 iyonlarından dolayı K-Feldpsat anortit formuna geçmiştir. Yapılan deneyler sonucunda optimum koşullar 1:1:3 K-Feldspat:Jips:Kalsit oranı, 1100 °C ısıl işlem sıcaklığı ve 40 dk ısıl işlem süresi olarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında %91,3 safsızlıkta K2SO4 eldesi gerçekleşmiştir.

Zhang ve diğerleri (2018) $CaCl_2$ tuzu ile beraber kalsit ($CaCO_3$) kullanarak %12,66 K_2O içeriğine sahip -96 mikron boyutlu feldspat numunesinden potasyum eldesi üzerine çalışmıştır ve çalışma çoğunlukla reaksiyon kinetiği üzerine yoğunlaşmaktadır. 1:2:2 Feldspat:$CaCl_2$:Kalsit oranında gerçekleştirilen deneylerde reaksiyon 510 °C ‘de başlarken potasyum ekstraksiyonundaki ani artış 750-800 °C

arasında gerçekleşmiştir. Laboratuvar ve pilot çapta uygulanan optimum koşullar ile %82 potasyum kazanma verimi elde edilmiştir.

2.3. Kavurma

Metalurjide malzemenin formunu değiştirmek için ısıl işlem uygulayarak kimyasal dönüşümlerin gerçekleşmesinin sağlandığı yönteme kavurma denilmektedir. Cevher içerisinde bulunan değerli malzemenin teknik açıdan üretime uygun bulunmadığı durumlarda kavurma yönteminin uygulanması gerekmektedir (Bor, 1989; Canbazoğlu, 1979).

Hava, oksijen, karbon, kükürt, su buharı ve klor kullanılarak malzemenin yapısını değiştirmek için füzyon noktasının altında ısıtma işlemi uygulanarak gerçekleştirilmektedir. Belli başlı kavurma çeşitleri şunlardır (Ray et al.,1985);

- Oksitleyici kavurma

  Ör: $2ZnS_{(s)} + 3O_{2\,(g)} \rightarrow 2ZnO_{(s)} + 2SO_{2\,(g)}$
- Manyetikleştirici kavurma

  Ör: $3FeS_2 + 8O_2 \rightarrow Fe_3O_4 + 6SO_2$
- Hematitleştirici kavurma

  Ör: $4FeS_2 + 11O_2 \rightarrow 2Fe_2O_3 + 8SO_2$
- İndirgeyici kavurma
- Sinterleyici kavurma
- Sülfitleyici kavurma
- Sülfatlaştırıcı kavurma

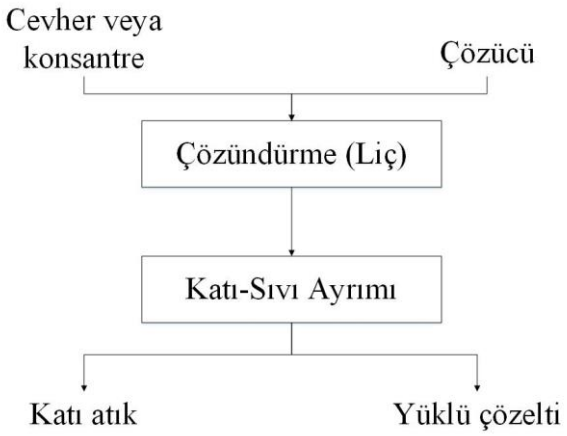
  Ör: $MeS + 2O_2 \rightarrow MeSO_4$
- Klorlayıcı kavurma

  Ör: $MeS + 2NaCl + 2O_2 \rightarrow Na_2SO_4 + MeCl_2$

2.4. Liç Prosesi

Liç prosesi ekstraktif metalurjide yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Belirli bir sıvı içerisinde uygun çözücüler ile değerli minerallerin seçimli olarak çözeltiye geçmesini sağlayan hidrometalurjik işleme liç adı verilmektedir. Çözünen değerli mineral çözeltiye geçtikten sonra katı halde kalan çözünmeyen kısım ise atık olarak

tanımlanmaktadır. Elde edilen yüklü çözelti daha sonra uygun saflaştırma yöntemleri ile nihai metal üretimleri gerçekleştirilir.



Şekil 2.9: Basitleştirilmiş liç prosesi

Liç proseslerinde çözücü olarak su, tuzlu su çözeltileri, klorlu su, asit, baz veya bakteriler kullanılabilmektedir. Kıymetli metallerin çözeltiye alınmasında etkenler (Boyrazlı, 2015):

- Çözelti üzerindeki basınç
- Pülp sıcaklığı
- Çözücünün konsantrasyonu
- Liç süresi
- Pülpteki katı oranı
- Liç çözeltisi ile malzemenin temas şekli

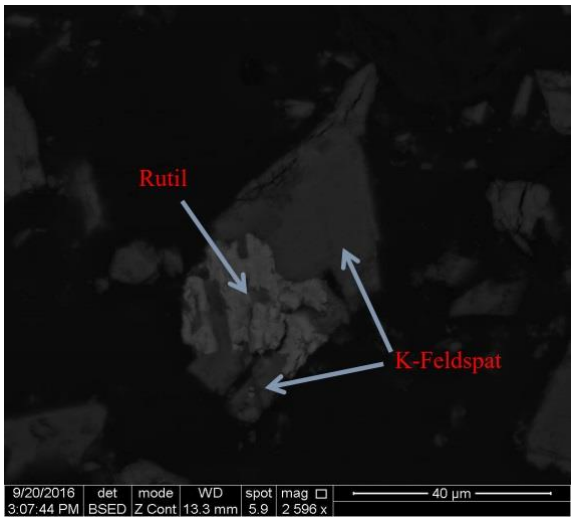
3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Malzeme

Deneysel çalışmalar sırasında kullanılan feldspat cevheri Kırşehir ili Buzlukdağ Bölgesi'nden BS Yatırım A.Ş. tarafından temin edilmiştir. Tuvenan cevhere ait numune Şekil 3.1'de verilmektedir. Deneyler sırasında kullanılan malzemenin boyutu ise -106 mikrondur.

Şekil 3.1: Tuvenan cevher numunesi.

Tuvenan cevhere Kanada'da bulunan Activation Laboratories şirketinde BSE, MLA ve Modal Mineraloji analizleri yapılmıştır. BSE analizi sonucu elde edilen görüntü Şekil 3.2'de verilmektedir.



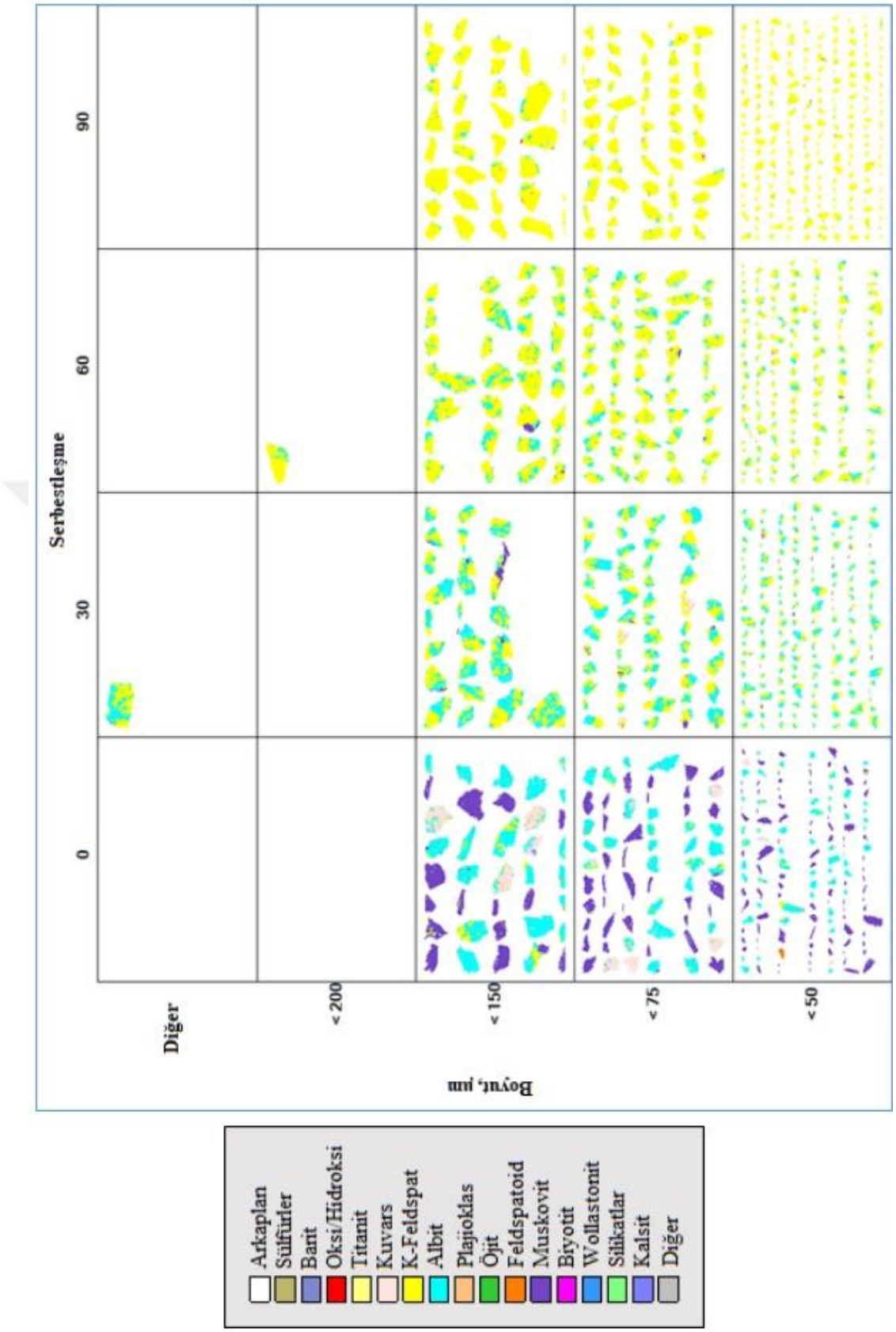
Şekil 3.2: BSE görüntü analizi sonucu.

Bruker 5010 SDD cihazı kullanılarak SEM destekli elde edilen görüntü analizi sonucunda rutil ile beraber fazla miktarda K-Feldspat varlığı gözükmektedir. FEI MLA 650F cihazı kullanılarak gerçekleştirilen modal mineraloji analizi ve mineral serbestleşme analizi sırasıyla Çizelge 3.1 ve Şekil 3.3'te verilmektedir.

Çizelge 3.1: Tuvenan cevher modal mineraloji analizi sonucu.

	Mineral	**İçerik, %**
Oksitler/Hidroksitler	**Man/Hema**	0,02
	Götit	0,05
	Rutil	0,02
Silikatlar	**Kuvars**	3,17
	K-Feldspat	39,96
	Albit	27,51
	Plajioklas	0,01
	Feldspatoit	0,09
	Muskovit	27,08
	Biotit	0,17
	Vollastonit	0,11
	Si-Al Killer	1,11
	Zirkon	0,04
	Apatit	0,07
	Bastnasit	0,05
	Diğer	0,52
	Toplam	100

Çizelge 3.2'de görülen modal mineraloji analizine baktığımızda tuvenan cevherde %39,96 oranında K-Feldspat ($KAlSi_3O_8$) ve %27,08 oranında Muskovit ($KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$) potasyum kaynağı olarak bulunmaktadır. Şekil 3.3'te bulunan mineral serbestleşme analizi sonucuna baktığımızda ise %90 oranında K-Feldspat serbestleşmesinin 200 mikronun altında mümkün olduğu görülmektedir.

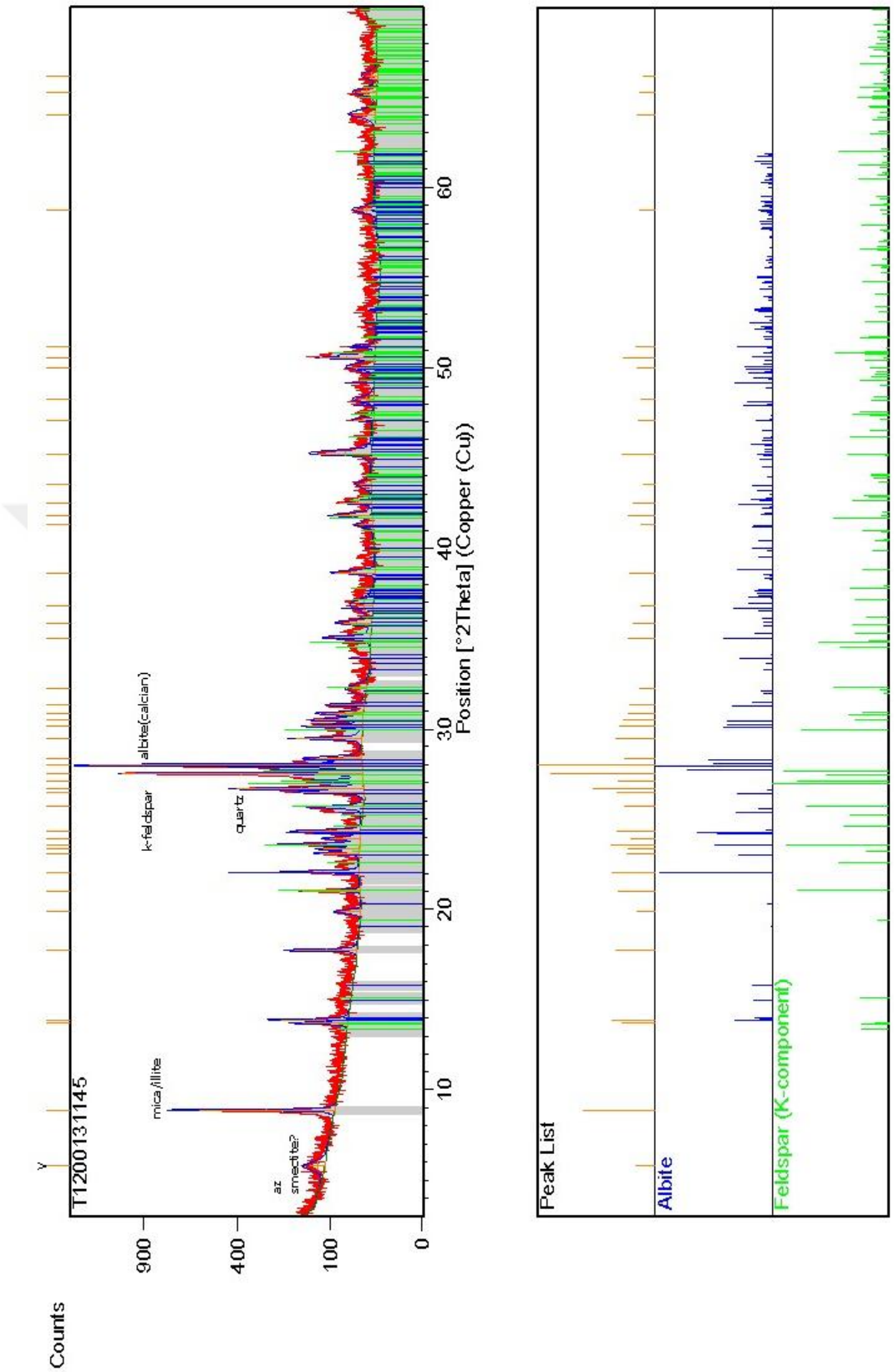


Şekil 3.3: Tüvenan cevher mineral serbestleşme analizi sonucu.

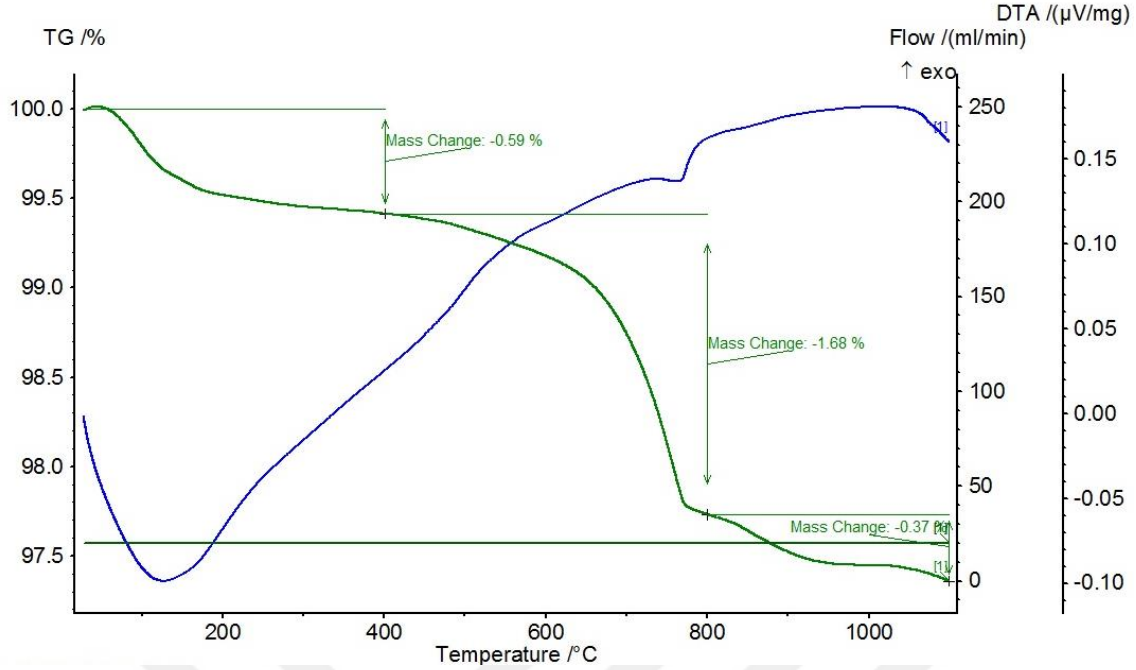
Tuvenan cevhere yapılan kimyasal analiz, XRD ve DTA-TGA analizleri Eczacıbaşı ESAN şirketi tarafından yapılmıştır. Yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar sırasıyla Çizelge 3.2, Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'te verilmektedir. Çizelge 3.2'de görüldüğü üzere tuvenan cevher %7,21 oranında K_2O içermektedir.

Çizelge 3.2: Tuvenan cevher komple kimyasal analiz sonucu.

Bileşen	**İçerik, %**
SiO_2	61,6
Al_2O_3	20,8
K_2O	7,21
Na_2O	4,9
CaO	2,91
Fe_2O_3	1,43
MgO	0,302
SO_3	0,159
TiO_2	0,138
CeO_2	0,0872
BaO	0,0786
F	0,0720
SrO	0,0710
ZrO_2	0,0499
MnO	0,0494
P_2O_5	0,0419
Rb_2O	0,0328
Cl	0,0264
ZnO	0,0110
PbO	0,00734
Nb_2O_5	0,00516
ThO_2	0,00459
Ga_2O_3	0,00287



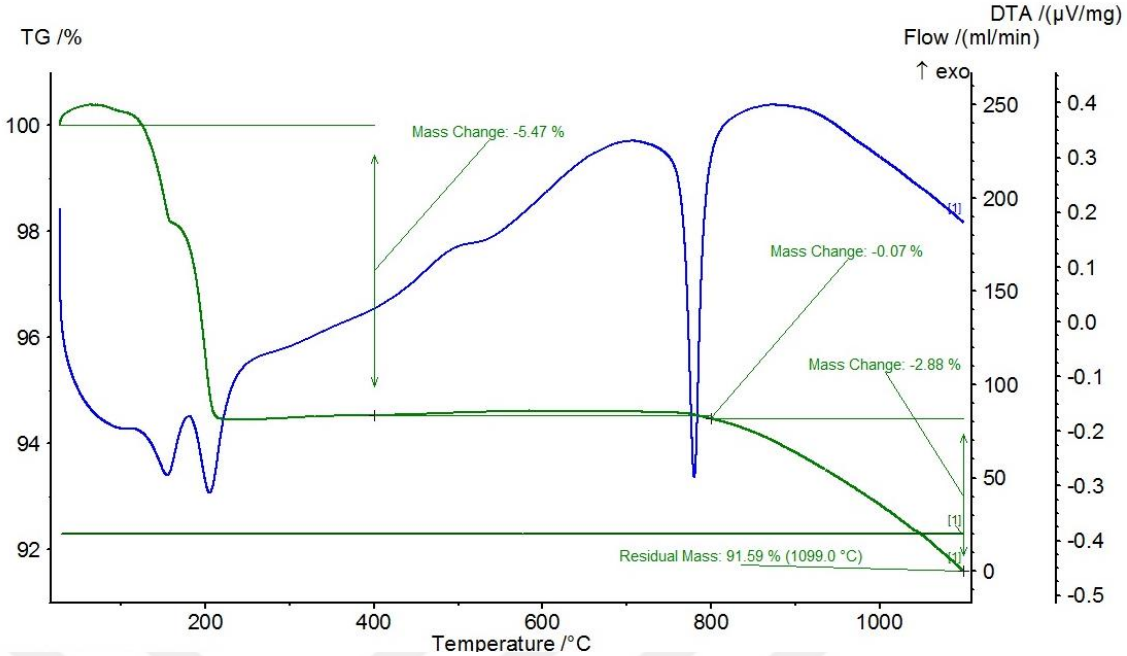
Şekil 3.4: Tuvenan cevher XRD analiz sonucu.



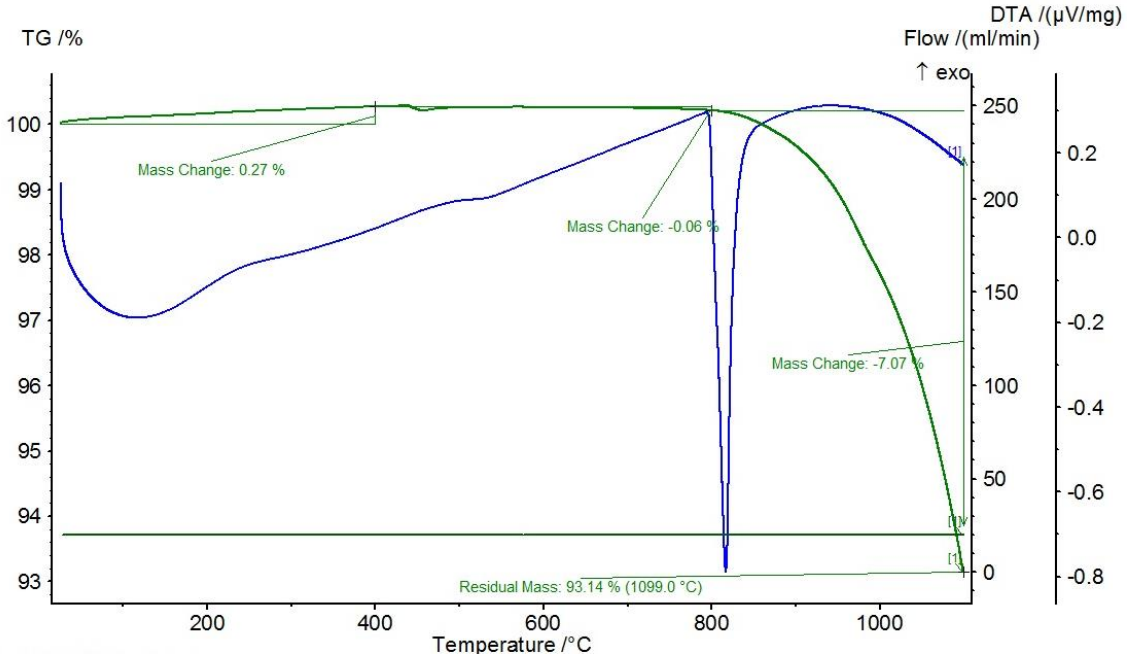
Şekil 3.5: Tuvenan cevher DTA-TGA analiz sonucu.

Cu X-Işını kaynaklı Panalytical X'Pert Pro difraktometresi kullanılarak gerçekleştirilen Şekil 3.4'te verilen XRD analizinde PDF4/Minerals ICDD veri tabanı kullanılarak mineral tanımlamaları gerçekleştirilmiştir. XRD analizi sonuçlarına göre tuvenan cevher içerisinde k-feldspat, albit, mika ve kuvars bulunmasının yanı sıra k-feldspat ve albit piklerinin çoğunlukta olduğu görülmektedir. NETZSCH STA 499 F3 Jupiter cihazı kullanılarak gerçekleştirilen Şekil 3.5'te verilen DTA-TGA sonuçlarına göre 100-400 C arasında %0,59 oranında ve 400-800 ^{o}C arasında %1,68 oranında kütle kaybı yaşanmaktadır. Yaşanan kütle kaybı numune içerisinde bulunan az miktarda nem ve karbondioksit içeriklerinin varlığından kaynaklanmaktadır. DTA sonucuna göre ise nem kaybı 100 ^{o}C'de yaşanırken bozunma ise 780 ^{o}C civarında gerçekleşmektedir.

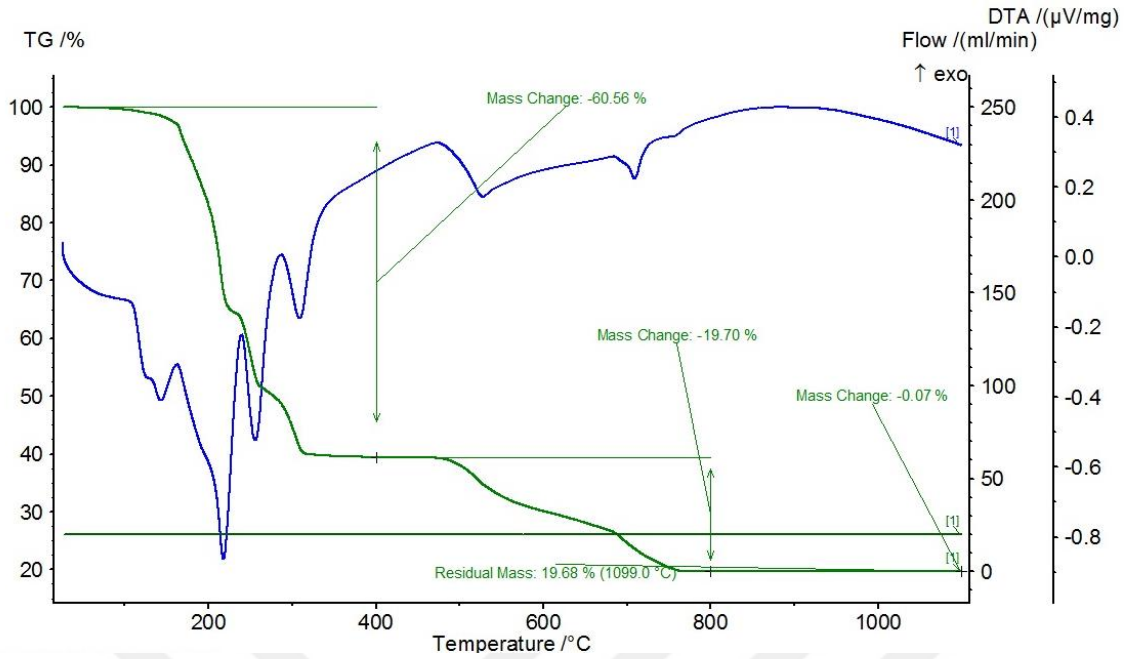
Deneylerde Merck firmasından temin edilen $CaCl_2$, NaCl, $MgCl_2$ ve $CaCO_3$ tuzları ve ESAN tarafından saf jips ($CaSO_4$) numunesi kullanılmıştır. Kullanılan tuz tiplerinin Eczacıbaşı-ESAN tarafından yapılan DTA-TGA analizleri Şekil 3.6, Şekil 3.7, Şekil 3.8, Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da verilmektedir.



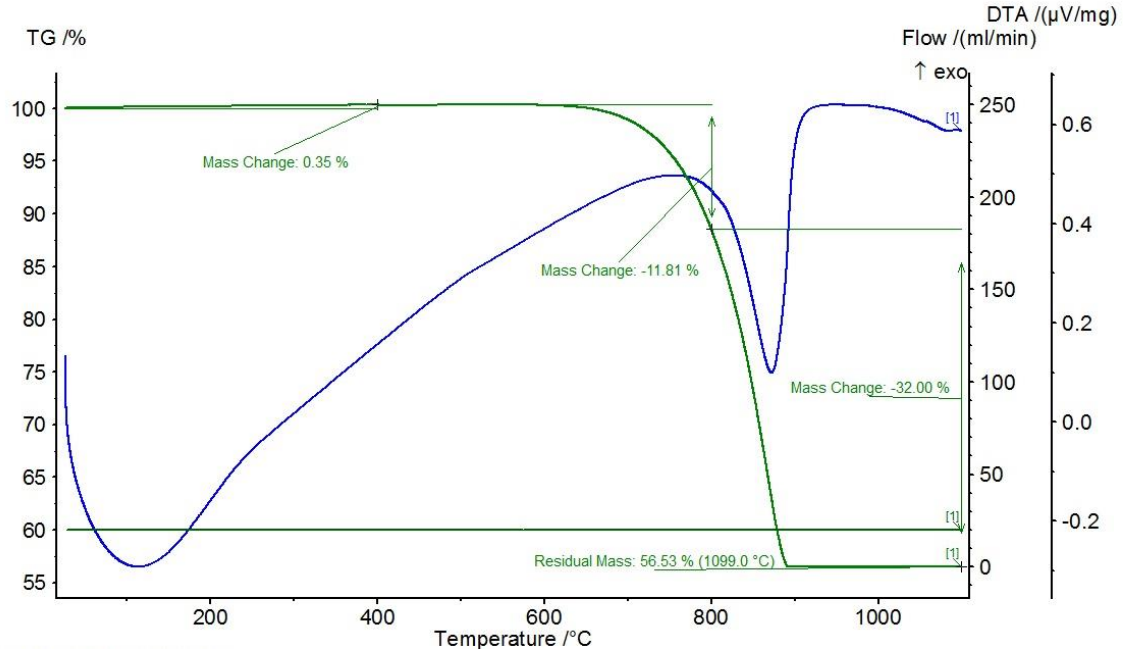
Şekil 3.6: $CaCl_2$ tuzu DTA-TGA analizi sonucu.



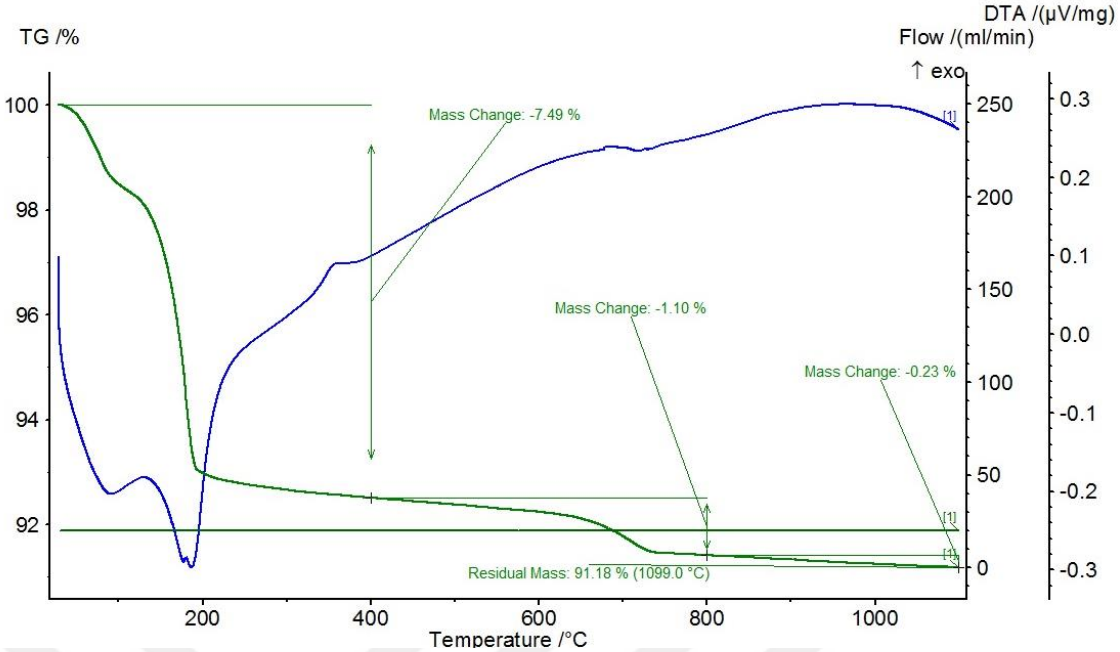
Şekil 3.7: NaCl tuzu DTA-TGA analizi sonucu.



Şekil 3.8: $MgCl_2$ tuzu DTA-TGA analizi sonucu.



Şekil 3.9: $CaCO_3$ tuzu DTA-TGA analizi sonucu.



Şekil 3.10: Jips numunesi DTA-TGA analizi sonucu.

Verilen DTA-TGA analizlerinin sonucuna baktığımızda kullanılan $CaCl_2$, NaCl, $MgCl_2$, $CaCO_3$ ve jips eklentilerinin sırasıyla 780, 820, 720, 880 ve 190 ^oC sıcaklıklarında bozunmanın gerçekleştiği görülebilmektedir.

3.2. Yöntem

İTÜ Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü'ne gelen feldspat numunesini ilk etapta 2 mm boyutunun altına indirilebilmek için Şekil 3.11'de verilen çeneli kırıcı, konili kırıcı ve merdaneli kırıcıdan sırasıyla geçirilmiştir. Elde edilen -2 mm boyutlu malzemenin 106 mikron boyutunun altına indirebilmek için ise Şekil 3.12'de verilen seramik değirmen kullanılmıştır. Numunede demir safsızlıkları oluşmaması için çelik değirmen yerine seramik değirmen tercih edilmiştir.

Şekil 3.11: Numune hazırlamada kullanılan kırıcılar (a) Çeneli kırıcı (b) Konili kırıcı (c) Merdaneli kırıcı.

Şekil 3.12: Numune öğütmede kullanılan değirmen ve bilyalar.

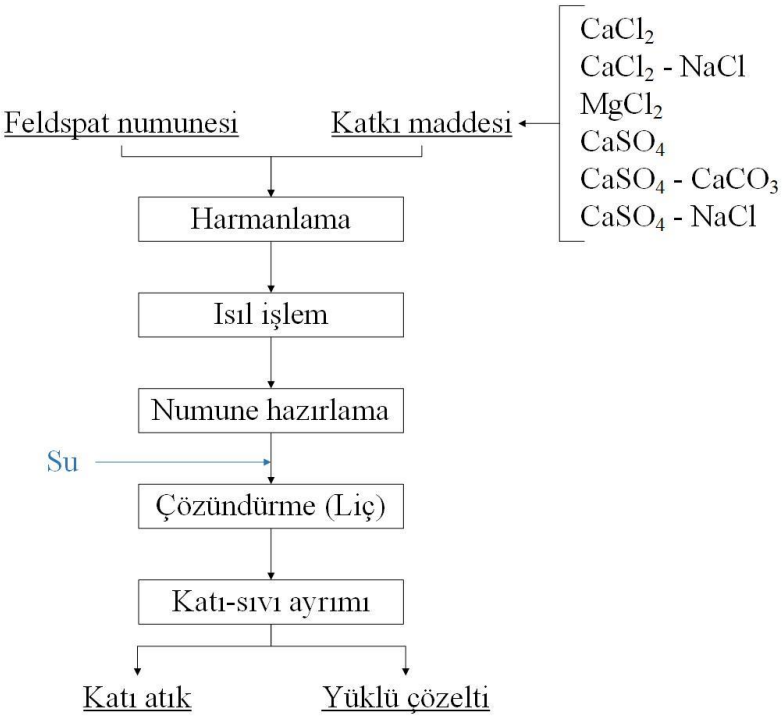
-106 mikron boyutlu feldspat numunesi çözündürme deneyleri öncesinde belirli oranlarda çeşitli tuzlar ile ısıl işlem işlemine tabi tutulmuştur. Isıl işlem işlemine girecek karışım porselen kroze içerisinde feldspat numunesi ve tuz(lar) toplamda 7,5 gr olacak şekilde eklenmiş ve homojen bir şekilde olana kadar karıştırılmıştır. Yüzey alanını arttırmak amacıyla karışım kroze içerisine iyice yayıldıktan sonra ısıl işlem fırınına 4 adet kroze konulmuştur. Isıl işlem işlemleri sırasında 1000 ^{o}C'ye kadar olan deneylerde Protherm marka PLF 130/6 model kül fırını kullanılırken 1000 ^{o}C'nin üzerindeki sıcaklıklar için Nabertherm marka P 320 model fırın kullanılmıştır. Kullanılan fırınlara ait resimler Şekil 3.13'de verilmektedir. Tez kapsamında feldspat ile $CaCl_2$, $CaCl_2$-NaCl, $MgCl_2$, $CaSO_4$, $CaSO_4$-$CaCO_3$ ve $CaSO_4$-NaCl tuzlarının karışımları ile deneyler gerçekleştirilmiştir.

Şekil 3.13: Sırasıyla Protherm marka fırın ve Nabertherm marka fırın.

Isıl işlem sonrasında numuneler tartıldıktan sonra agat havanda malzeme toz boyutuna getirilmiştir. Elde edilen numunenin içerisinden 15 gr alınarak liç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Liç deneyleri %10 PKO oranında 60 ^{o}C sıcaklıkta ve 500 devir/dk

karıştırma hızında 2 saat süre ile gerçekleştirilmiş olup koşullar sabit tutulmuştur. Liç sonrasında elde edilen pülpe vakum filtre yardımı ile katı sıvı ayrımı yapılmıştır. Fitrasyon işlemi için Sartorius marka mavi etiketli 391 kodlu filtre kağıdı kullanılmıştır ve filtre kağıdı 2-3 mikrona kadar taneleri tutabilmektedir. Elde edilen yüklü çözelti ve katı atık analize gönderilmiş ve analizler Varian marka AA240FS model atomik adsorpsiyon cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneği Şekil 3.14'de gösterilmektedir. Yapılan çalışmaların genel akım şeması Şekil 3.15'de verilmiştir.

Şekil 3.14: Sırasıyla liç deney düzeneği ve vakum filtre seti.



Şekil 3.15: Genel akım şeması.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. $CaCl_2$ Tuzu Deneyleri

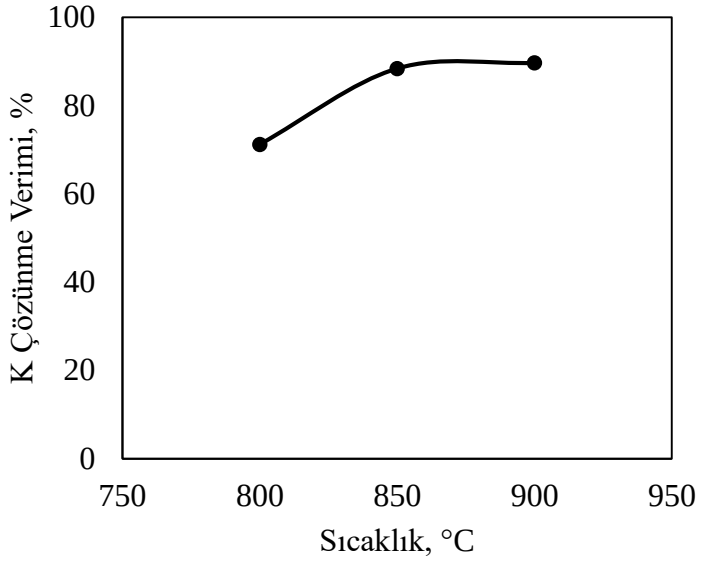
$CaCl_2$ tuzu kullanılarak gerçekleştirilen potasyum ekstraksiyonu deneylerinde Feldspat:$CaCl_2$ oranı 1:1,5 olarak sabit tutulmuştur. Isıl işlem deneylerinde ısıl işlem süresi 60 dk olarak belirlenmiş ve 800-850-900 °C ısıl işlem sıcaklıklarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Feldspat numunesi ve $CaCl_2$ için ergime sıcaklıkları 780 °C civarında olduğundan deneylerde en düşük 800 °C ısıl işlem sıcaklığı denemiştir. Isıl işlem sonrası optimum koşullarda yapılan liç işlemi sonrası %89,74 potasyum çözünme verimi elde edilmiştir. Isıl işlem sırasında oluşması beklenen tepkime aşağıda verildiği gibidir (Yuan et al., 2015);

$$CaCl_{2(k,s)} + 2KAlSi_3O_{8(k)} = CaAl_2Si_2O_8 + 4SiO_{2(k)} + 2KCl_{(k,s)} \quad (4.1)$$

Isıl işlem sırasında ergime sıcaklığının üstünde yüksek miktarda Ca^{+2} iyonlarının ortamda bulunması nedeniyle potasyum yerine kalsiyum gelerek anortit oluşumu gerçekleşirken potasyum KCl formuna geçmektedir. Benzer elektronik konfigürasyona sahip olan kalsiyum (Ca:$1s^22s^22p^63s^23p^6$) ve potasyum (K:$1s^22s^22p^63s^23p^6$) en kararlı formlarında iken Ca^{+2} iyonu K^+ iyonu ile yer değiştirebilmektedir (Jena et al., 2016). Çözünebilir bir tuz olan KCl daha sonra su liçi uygulanarak kazanılabilmektedir. Yapılan deney sonuçları Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1'de verilmektedir.

Çizelge 4.1: $CaCl_2$ tuzu kullanılarak elde edilen potasyum çözünme verimleri.

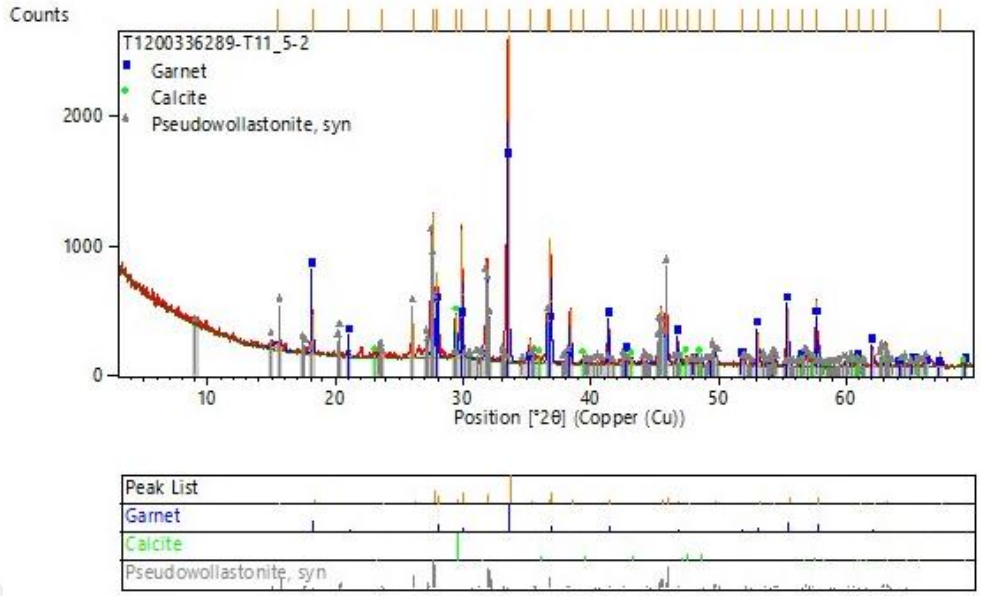
Feldspat:$CaCl_2$ oranı	Isıl işlem Sıcaklığı, °C	K Çözünme Verimi, %
1:1,5	800	71,25
1:1,5	850	88,45
1:1,5	900	89,74



Şekil 4.1: $CaCl_2$ tuzu kullanılarak elde edilen potasyum çözünme verimleri.

850 ve 900 °C ısıl işlem sıcaklıklarında yapılan deneylerde sırasıyla %88,45 ve %89,74 potasyum çözünme verimi elde edilmiştir. Verimler arasında çok büyük bir fark olmadığından 850 °C ısıl işlem sıcaklığı optimum olarak kabul edilmiştir. 900 °C ısıl işlem sıcaklığına ulaşmak için daha fazla enerji gerektiğinden dolayı masrafları düşürmek adına daha düşük sıcaklık tercih edilmiştir. Optimum sonuçlar ile yapılan deneye ait ısıl işlem öncesi ve sonrası numuneler Şekil 4.2'de verilmektedir. Şekil 4.3'te ise liç sonrası katı-sıvı ayrımı ile elde edilen katı atık numunesine ait XRD sonucu verilmiştir.

Şekil 4.2: $CaCl_2$ ile kullanılarak optimum şartlarda yapılan deneye ait sırasıyla ısıl işlem öncesi (solda) ve ısıl işlem sonrası (sağda) numuneler.



Şekil 4.3: Liç sonrası elde edilen katı atık numunesinin XRD sonucu.

Şekil 4.3'te verilen XRD sonucuna baktığımızda liç sonrasında elde edilen katı atık içerisinde garnet, kalsit ve vollastonit oluşumu gözlemlenmektedir. Özellikle vollastonit açısından zengin olan katı atık çeşitli sektörler için zenginleştirilerek kullanılabilecek içeriktedir. Yapılan deneyler kapsamında elde edilen optimum deney koşulları Çizelge 4.2'de verilmektedir.

Çizelge 4.2: $CaCl_2$ tuzu ile yapılan deneylerin optimum koşulları.

Feldspat numunesi boyutu	-106 mikron
Feldspat:CaCl2 oranı	1:1,5
Isıl işlem sıcaklığı	850 °C
Isıl işlem süresi	60 dk
Liç pülpte katı oranı	%10
Liç sıcaklığı	60 °C
Liç süresi	120 dk
Liç karıştırma hızı	500 RPM

4.2. $CaCl_2$ ve NaCl Tuzu Deneyleri

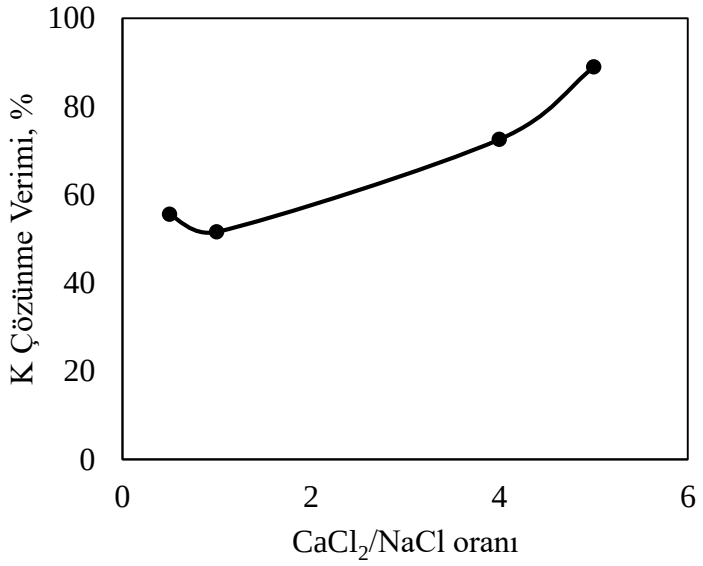
$CaCl_2$ tuzunun oranını azaltmak için klor bazlı NaCl tuzu kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Burada amaç Cl kaynağını arttırmak olduğun dolayı klor bazlı tuz tercih edilmiştir. Isıl işlem sırasında ergime gerçekleştiğinde Na^+ iyonlarına göre Ca^{+2} iyonu potasyum iyonu ile yer değiştirmek için daha uygundur. Bunun nedeni sodyum

atom yarıçapı (R_{Na}:0,95 A°) ile potasyum atom yarıçapı (R_K:1,33 A°) arasındaki fark kalsiyum atom yarıçapı (R_{Ca}:0,99 A°) ile olan farktan daha büyük olduğundan dolayı Ca^{+2} daha kolay yer değiştirme sağlayabilmektedir. Bu nedenle KCl tuzunun yanı sıra anortit oluşumu da tahmin edilmektedir (Jena et al., 2016).

$CaCl_2$ tuzu kullanılarak en yüksek çözünme veriminin elde edildiği 850 °C ısıl işlem sıcaklığı Feldspat-$CaCl_2$-NaCl karışımı ile yapılan deneylerde sabit tutulmuştur. NaCl için ergime sıcaklığı 820 °C olduğundan dolayı $CaCl_2$ kullanılarak yüksek verimin elde edildiği 850 °C ısıl işlem sıcaklığının kullanılması uygundur. Feldspat:$CaCl_2$: NaCl oranları 1:1;25:0,25; 1:1:0,25; 1:0,75:0,75 ve 1:0,5:1 olacak şekilde deneyler gerçekleştirilmiştir. Isıl işlem sonrası yapılan liç deneylerinden elde eldilen sonuçlar Çizelge 4.3 ve Şekil 4.4'de verilmektedir.

Çizelge 4.3: $CaCl_2$ ve NaCl tuzlarının karışımı ile elde edilen potasyum çözünme verimleri.

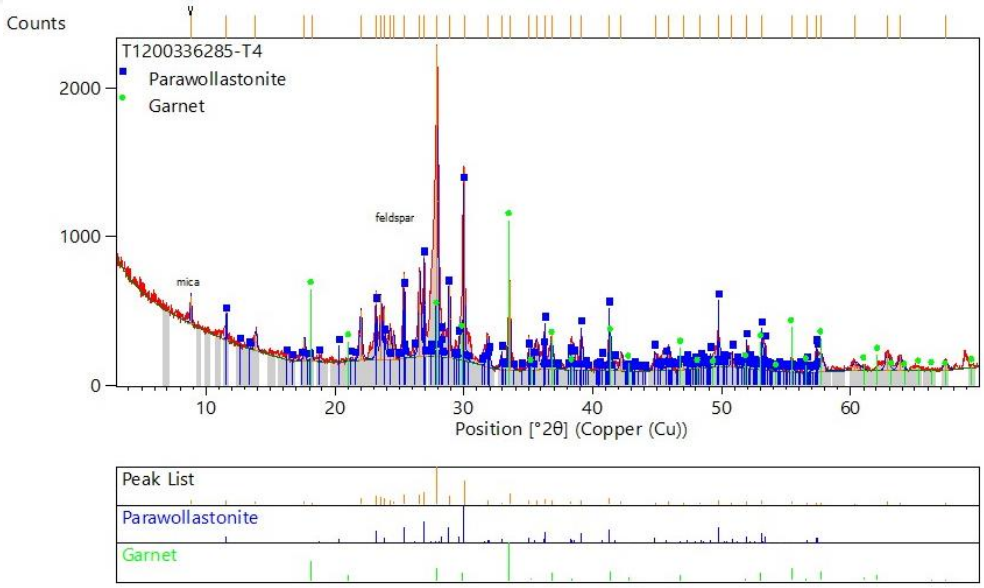
$CaCl_2$/NaCl	**Feldspat:$CaCl_2$:NaCl Oranı**	**K Çözünme Verimi, %**
5	1 : 1,25 : 0,25	88,94
4	1 : 1 : 0,25	72,50
1	1 : 0,75 : 0,75	51,58
0.5	1 : 0,5 : 1	55,50



Şekil 4.4: $CaCl_2$ ve NaCl tuzlarının karışımı ile elde edilen potasyum çözünme verimleri.

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilere baktığımızda en yüksek verim %88,94 ile $CaCl_2$/NaCl oranının 5 olduğu deneyde elde edilmiştir. Karışım içerisindeki NaCl oranı arttıkça potasyum çözünme veriminde düşüş olduğu gözlemlenmektedir. Deney sırasında kullanılan feldspat-$CaCl_2$-NaCl karışımı için ısıl işlem öncesi ve ısıl işlem sonrası numuneler Şekil 4.5'te verilmiştir. Liç sonrası elde edilen katı atık numunesine ait XRD sonucu ise Şekil 4.6'da verilmektedir.

Şekil 4.5: Feldspat-$CaCl_2$-NaCl karışımı sırasıyla ısıl işlem öncesi ve ısıl işlem sonrası numuneler.



Şekil 4.6: Liç sonrası elde edilen katı atık numunesinin XRD sonucu.

Şekil 4.5'te görüldüğü üzere deneylerde sırasında ısıl işlem işlemlerinde kullanılan krozelerde numune içerisindeki NaCl miktarı arttıkça yapışmanın arttığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.6'da verilen XRD sonucuna göre ise oluşan katı atık

içerisinde garnet ve vollastonit oluştuğu görülmektedir. Sadece $CaCl_2$ kullanılarak yapılan deneyle kıyasladığımızda kalsit oluşumun bu karışım ile yapılan deneylerde oluşmadığı görülmektedir.

4.3. $MgCl_2$ Tuzu Deneyleri

$CaCl_2$ gibi pahalı bir tuz olan $MgCl_2$ tuzunun alternatif olarak nitelendirilmesinin nedeni miktar olarak $CaCl_2$ tuzundan daha az kullanılarak yüksek verimler elde edilebilmesidir. $MgCl_2$ tuzu kullanılarak elde edilmesi beklenen tepkime şu şekildedir (Orosco ve Ruiz, 2015);

$$KAlSi_3O_8 + \frac{7}{2}MgCl_{2(l)} + \frac{3}{2}O_{2(g)} = KCl_{(l)} + 3MgSiO_3 + \frac{1}{2}MgAl_2O_4 + 3Cl_{2(g)} \qquad (4.2)$$

Potasyum klor ile tepkimeye girerek KCl tuzunu oluştururken bir kısım klorun Cl_2 gazı olarak çıkması beklenmektedir. Magnezyum içeriğinden dolayı ise çeşitli magnezyum minerallerinin oluşumu öngörülmektedir. Deneyler kapsamında ilk etapta Feldspat:$MgCl_2$ oranı 1:0,5 olarak sabit tutularak 800-850-900 °C ısıl işlem sıcalıklarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Isıl işlem sıcaklıkları belirlenirken 720 °C olan $MgCl_2$ ergime sıcaklığı dikkate alınmıştır. İkinci etapta ise belirlenen 850 °C ısıl işlem sıcaklığı ile 1:0,5; 1:1; 1:1,5 ve 1:2 oranlarında deneyler yapılmıştır. Tüm deneylerde ısıl işlem sonrası yapılan liç işlemlerinde koşullar değiştirilmemiştir. $MgCl_2$ kullanılarak gerçekleştirilen tüm deneylere ait sonuçlar Çizelge 4.4'te verilmektedir.

Çizelge 4.4: $MgCl_2$ kullanılarak yapılan deneylere ait sonuçlar.

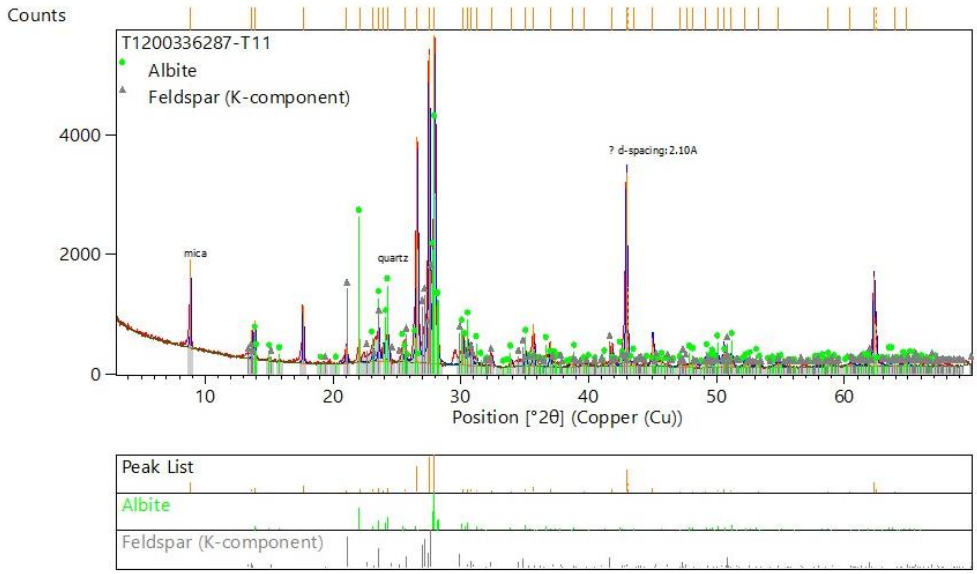
Isıl işlem Sıcaklığı, °C	Feldspat:$MgCl_2$ Oranı	K Çözünme Verimi, %
800	1 : 0,5	0,05
850	1 : 0,5	0,15
900	1 : 0,5	0,15

Çizelge 4.4(devam): $MgCl_2$ kullanılarak yapılan deneylere ait sonuçlar.

Isıl işlem Sıcaklığı, °C	Feldspat:$MgCl_2$ Oranı	K Çözünme Verimi, %
850	1 : 0,5	0,15
850	1 : 1	0,09
850	1 : 1,5	0,21
850	1 : 2	0,17

Çizelge 4.4'te görüldüğü üzere yapılan sıcaklık ve oran deneylerinde $MgCl_2$ tuzu kullanılarak potasyum çözünmesi elde edilememiştir. Deney sırasında kullanılan karışımın ısıl işlem öncesi ve ısıl işlem sonrası resimleri Şekil 4.7'de verilmektedir. Liç sonrası elde edilen katı atık XRD analiz sonucu ise Şekil 4.8'de verilmektedir.

Şekil 4.7: $MgCl_2$ ile yapılan karışımı sırasıyla ısıl işlem öncesi ve ısıl işlem sonrası.



Şekil 4.8: Liç sonrası elde edilen katı atık numunesinin XRD sonucu.

Deneyler sırasında hazırlanan karışımlarda $MgCl_2$ oranı arttıkça ısıl işlem sonrasında malzemenin krozeye yapışması artmıştır fakat NaCl ile yapılan deneylerin aksine kolaylıkla çıkartılabilmiştir. Şekil 4.8'e baktığımızda ise elde edilen katının içeriğinin orijinal numune ile aynı olduğu görülmektedir. Buradan ısıl işlem sırasında kimyasal tepkimenin gerçekleşmediği görülmektedir.

4.4. $CaSO_4$-$CaCO_3$ Deneyleri

Potas bileşiklerinden olan KCl yerine yine gübrede kullanılabilen K_2SO_4 tuzunu üretebilmek için Jips ($CaSO_4$) ve kalsit ($CaCO_3$) karışımı ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Sadece jips ve jips-kalsit karışımı kullanılarak gerçekleştirilen deneylerde ısıl işlem sırasında gerçekleşmesi beklenen kimyasal tepkime şu şekildedir (Zhong et al., 2017);

$$2KAlSi_3O_8 + CaSO_4 = K_2SO_4 + CaAl_2SiO_6 + 5SiO_2 \quad (4.3)$$

$$2KAlSi_3O_8 + CaSO_4 + 8CaCO_3 = K_2SO_4 + Ca_3Al_2Si_3O_{12} + 3Ca_2SiO_4 + 8CO_2 \quad (4.4)$$

Isıl işlem sırasında kalsiyum ile potasyum yer değiştirerek potasyum sülfat (K_2SO_4) oluşumu sağlanması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında Feldspat:Jips oranı 1:0,5 olacak şekilde sabit tutulmuş ve 750-850-950 °C ısıl işlem sıcaklıklarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Jips numunesi için ergime sıcaklığı oldukça düşük (190 °C) olduğundan sıcaklık seçimleri uygundur. Daha sonra jips ile beraber kalsit numunesi de kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney kapsamında Feldspat:Jips:Kalsit oranı 1:1:1 olarak sabit tutulmuş ve 850-900 °C ısıl işlem sıcaklıklarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Tüm deneyler kapsamında liç şartları aynı şekilde uygulanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen verimler Çizelge 4.5'te verilmiştir.

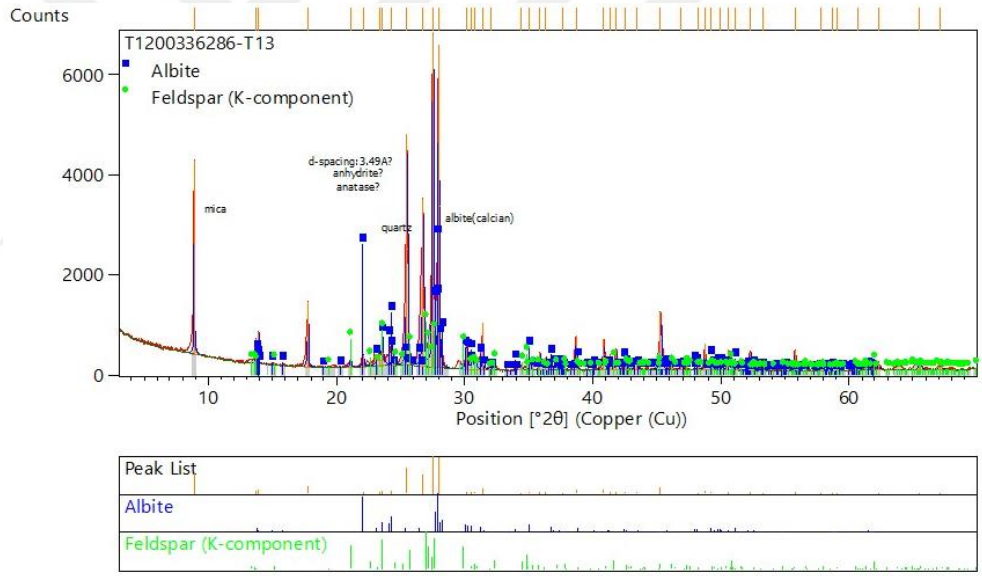
Çizelge 4.5: Sadece Jips ve Jips-Kalsit karışımı ile yapılan deney sonuçları.

Isıl işlem Sıcaklığı, °C	Feldspat:$CaSO_4$ Oranı	K Çözünme Verimi, %
750	1 : 0,5	0,17
850	1 : 0,5	0,09
950	1 : 0,5	0,04

Çizelge 4.5(devam): Sadece Jips ve Jips-Kalsit karışımı ile yapılan deney sonuçları.

Isıl işlem Sıcaklığı, °C	Feldspat:$CaSO_4$:$CaCO_3$ Oranı	K Çözünme Verimi, %
850	1 : 1 : 1	0,11
950	1 : 1 : 1	0,23

Çizelge 4.5'te görüldüğü üzere yapılan deneyler sonucunda potasyum çözünmesi sağlanamamıştır. İleriki aşamalarda ısıl işlem sırasında kimyasal tepkimenin gerçekleşmesini sağlamak için daha yüksek sıcaklıklarda denemeler gerçekleştirilebilir. Sadece jips ile yapılan liç deneyinden elde edilen katı atık numunesine yapılan XRD analizinin sonucu ise Şekil 4.9'da verilmiştir. XRD analizinde görüldüğü üzere orijinal numune içeriği ile aynıdır ve kimyasal tepkimenin gerçekleşmediği anlaşılmaktadır.



Şekil 4.9: Sadece jips kullanılarak yapılan deneyin katı atık XRD analizi.

4.5. Jips-NaCl deneyleri

Çalışmada son olarak jips ve NaCl tuzunun karışımları denenmiştir. Yapılan deneyler kapsamında ısıl işlem sırasında oluşması beklenen tepkime şu şekildedir (Jena et al., 2016);

$$CaSO_4.2H_2O = CaSO_4 \text{ (Anhidrit)} \quad (4.5)$$

$$CaSO_4\ (Anhidrit) + 2NaCl = CaCl_2 + Na_2SO_4 \quad (4.6)$$

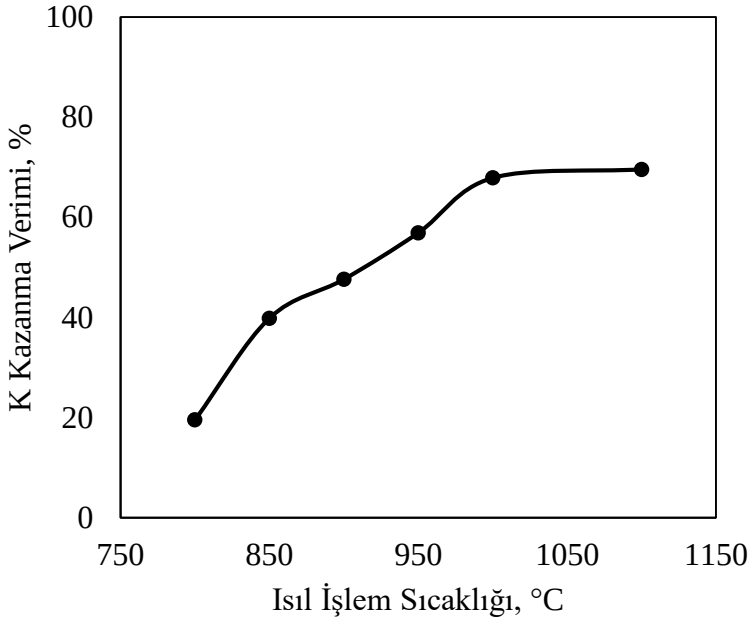
$$2KAlSi_3O_8 + CaCl_2 = 2KCl + CaAl_2Si_2O_8 + 4SiO_2 \quad (4.7)$$

Isıl işlem sırasında ilk etapta jips suyunu kaybettikten sonra NaCl ile tepkimeye girerek $CaCl_2$ tuzunu oluşturmaktadır. Daha sonra oluşan $CaCl_2$ tuzu feldspat ile tepkimeye girerek KCl tuzunun oluşumunu sağlamaktadır.

Deneyler kapsamında Feldspat:Jips:NaCl oranı 1:1.25:0.25 olarak sabit tutulmuş ve 800-850-900-950-1000-1100 °C ısıl işlem sıcaklıkları denenmiştir. Liç deneyleri ise aynı koşullarda gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylere ait sonuçlar Çizelge 4.6 ve Şekil 4.10'da verilmektedir.

Çizelge 4.6: Jips ve NaCl ile yapılan ısıl işlem sıcaklığı deneyleri sonuçları.

Feldspat:$CaSO_4$:NaCl Oranı	**Isıl işlem Sıcaklığı, °C**	**K Çözünme Verimi, %**
1 : 1,25 : 0,25	800	19,54
1 : 1,25 : 0,25	850	39,86
1 : 1,25 : 0,25	900	47,62
1 : 1,25 : 0,25	950	56,91
1 : 1,25 : 0,25	1000	67,89
1 : 1,25 : 0,25	1100	69,59



Şekil 4.10: Jips ve NaCl ile yapılan deneylerde ısıl işlem sıcaklığı deneyleri sonuçları.

Yapılan deneyler sonucunda 1000 °C ısıl işlem sıcaklığı sonrasında verimde sabitleşme gözlemlenmektedir. Bu nedenle optimum olarak 1000 °C seçilmiştir. Seçilen ısıl işlem sıcaklığı sabit tutularak oran denemeleri yapılmıştır. Feldspat ve NaCl oranları sabit tutularak 1:0,25:1; 1:0,5:1; 1:0,75:1; 1:1:1; 1:1,25:1 ve 1:1,5:1 Feldspat:Jips:NaCl oranlarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen verimler Çizelge 4.7'da verilmiştir.

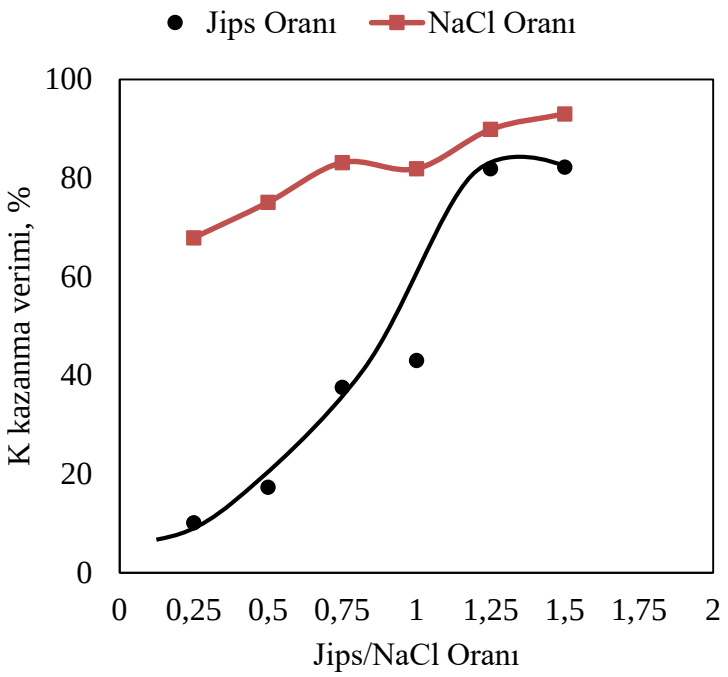
Çizelge 4.7: Farklı jips oranları ile yapılan deneylere ait sonuçlar.

Feldspat:$CaSO_4$:NaCl Oranı	Isıl işlem Sıcaklığı, °C	K Çözünme Verimi, %
1 : 0,25 : 1	1000	10,13
1 : 0,5 : 1	1000	17,35
1 : 0,75 : 1	1000	37,53
1 : 1 : 1	1000	43,01
1 : 1,25 : 1	1000	81,87
1 : 1,5 :1	1000	82,17

Farklı jips oranları ile yapılan deneyler sonucunda 1,25 jips oranından sonra potasyum çözünme veriminde çok büyük artış olmadığından dolayı 1,25 jips oranı optimum olarak alınmıştır. Daha sonra feldspat ve jips oranları sabit tutularak 1:1,25:0,25; 1:1,25:0,5; 1:1,25:0,75; 1:1,25:1; 1:1,25:1,25 ve 1:1.25:1.5 Feldspat:Jips:NaCl oranlarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler kapsamında elde edilen sonuçlar Çizelge 4.8'de ve tüm oranların verildiği grafik Şekil 4.11'de verilmektedir.

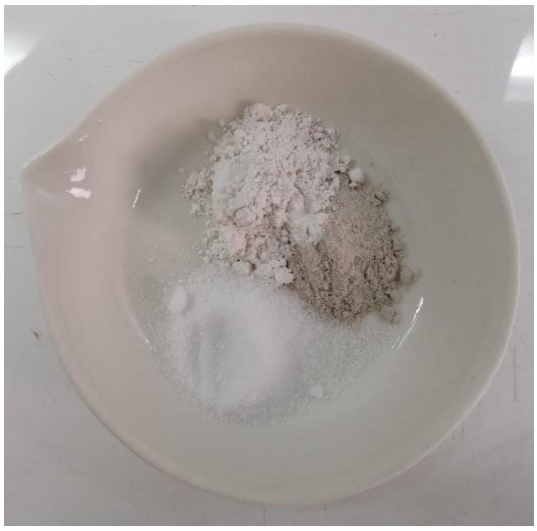
Çizelge 4.8: Farklı NaCl oranları ile yapılan deneylere ait sonuçlar.

Feldspat:$CaSO_4$:NaCl Oranı	Isıl işlem Sıcaklığı, °C	K Çözünme Verimi, %
1 : 1,25 : 0,25	1000	67,89
1 : 1,25 : 0,5	1000	75,05
1 : 1,25 : 0,75	1000	83,12
1 : 1,25 : 1	1000	81,87
1 : 1,25 : 1,25	1000	89,82
1 : 1,25 : 1,5	1000	92,98



Şekil 4.11: Farklı jips oranları ile yapılan deneylere ait sonuçlar.

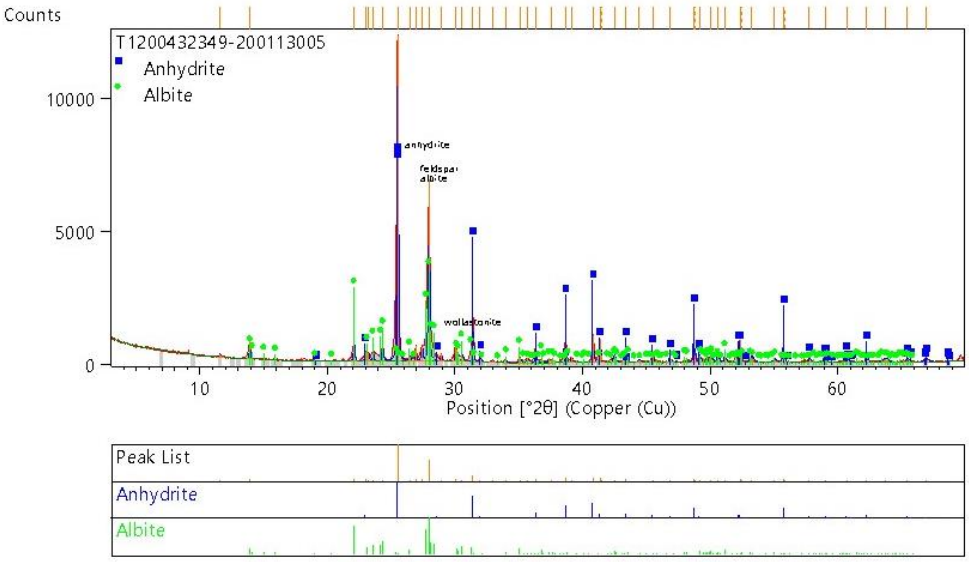
Farklı NaCl oranları ile yapılan deneyler kapsamında en yüksek çözünme verimi %92,98 ile 1:1,25:1,5 Feldspat:Jips:NaCl oranında elde edilmiştir. Optimum sonuçlarda yapılan deneylerde hazırlanan karışımların oranı, ısıl işlem öncesi ve ısıl işlem sonrası Şekil 4.12, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'te verilmektedir. Liç sonrası elde edilen katı atık numunesine yapılan XRD analiz sonucu ise Şekil 4.15'te verilmektedir.



Şekil 4.12: Optimum sonuçların elde edildiği deneyde kullanılan karışım.

Şekil 4.13: Farklı jips oranlarında yapılan deney numunesi sırasıyla ısıl işlem öncesi ve ısıl işlem sonrası.

Şekil 4.14: Farklı NaCl oranlarında yapılan deney numunesi sırasıyla ısıl işlem öncesi ve ısıl işlem sonrası.



Şekil 4.15: Optimum koşullarda elde edilen liç sonrası katı atık XRD analizi.

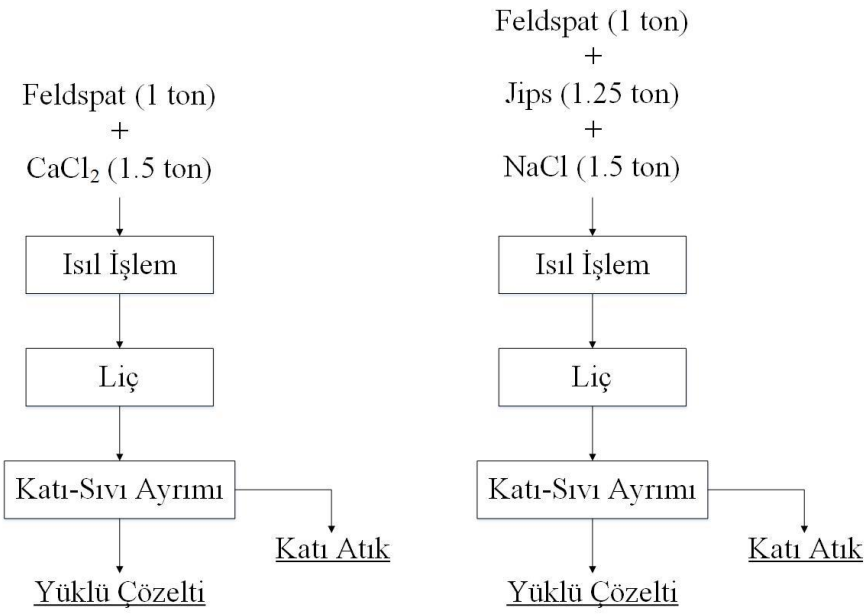
Şekil 4.15'e baktığımızda liç sonrasında elde edilen katı atık içerisinde albit ve anhidrit oluşumu gözlemlenmektedir. Burada albit oluşumu ortamda bulunan Na^+ iyonun fazla olmasından dolayı sodium ve potasyumun yer değiştirmesi ile oluşmuştur. Yapılan tüm deneyler sonucunda elde edilen optimum deney koşulları Çizelge 4.9'da verilmektedir.

Çizelge 4.9: CaSO4-NaCl karışımı ile yapılan deneyler sonucunda elde edilen optimum koşullar.

Feldspat numunesi boyutu	-106 mikron
Feldspat:CaSO4:NaCl oranı	1:1,25:1,5
Isıl işlem sıcaklığı	1000 °C
Isıl işlem süresi	60 dk
Liç pülpte katı oranı	%10
Liç sıcaklığı	60 °C
Liç süresi	120 dk
Liç karıştırma hızı	500 RPM

4.6. Ekonomik Değerlendirme

Yapılan çalışma kapsamında $CaCl_2$ tuzu yerine alternatif olarak Jips-NaCl karışımının kullanılabileceği görülmüştür. En iyi şartların elde edildiği 1:1,5 Feldspat:$CaCl_2$ oranı ve 1:1,25:1,5 Feldspat:Jips:NaCl oranı için yapılan basit maliyet hesabı akım şeması halinde Şekil 4.16'da verilmektedir.



Şekil 4.16: Ekonomik değerlendirme için akım şeması.

Maliyet hesabı yapılırken baz alınan kimyasal fiyatları yüksek kaliteli kimyasallardır ve endüstriye uygulandığında miktarlar çok daha düşük olacaktır. Kullanılan yüksek saflıkta olan kimyasalların fiyatları aşağıda verilmiştir.

- $CaCl_2$: 807,06 TL/kg
- Jips : 662,16 TL/kg
- NaCl : 127,87 TL/kg

Şekil 4.16'da verilen kimyasal miktarları ile yapılan hesaplamalar doğrultusunda iki yöntem arasındaki maliyet farkı 191.085 TL/t olarak belirlenmektedir. Buradan Jips-NaCl karışımı kullanılarak yapılan proseste katkı maddesi maliyetinin %15,7 daha düşük olduğu görülmektedir. Tez kapsamında elde edilen sonuçlar ile $CaCl_2$ tuzuna alternatif bir proses üretilmesi başarılı olmuştur. Jips-NaCl karışımı kullanılarak oluşturulan proses daha yüksek çözünme verimine sahip olmasının yanı sıra daha ekonomik koşullarda gerçekleştirilebilmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında Kırşehir-Bayındır Bölgesi'nde bulunan potasyum feldspat cevherinden tarım sektöründe kullanılmak üzere gübre hammaddesi olan potasyum tuzunun ekonomik olarak eldesi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Tez kapsamında elde edilen genel sonuçlar ve öneriler aşağıda verilmektedir.

- $CaCl_2$ kullanılarak yapılan deneylerde 1:1,5 Feldspat: $CaCl_2$ oranında 850 °C ısıl işlem sıcaklığında %88,42 potasyum çözünme verimi elde edilmiştir.
- Çözeltiden elde edilebilen KCl tuzunun yanı sıra liç sonrası elde edilen katı atık çeşitli sektörlerde kullanılabilecek miktarda vollastonit içermektedir.
- $CaCl_2$ miktarını azaltmak için $CaCl_2$-NaCl karışımı ile yapılan deneylerde ise NaCl tuzunun potasyum çözünmesini olumsuz yönde etkilediği gözlemlenmiştir.
- $MgCl_2$ tuzu ve $CaSO_4$-$CaCO_3$ karışımı ile yapılan deneylerde ise ısıl işlem sırasında kimyasal tepkime gerçekleşmemiş ve potasyum çözünmesi elde edilememiştir.
- $CaSO_4$-NaCl karışımı ile yapılan deneylerde optimum sonuç %92,98 potasyum çözünme verimi ile 1:1,25:1,5 Feldspat:$CaSO_4$:NaCl oranında 1000 °C ısıl işlem sıcaklığı ile elde edilmiştir.
- Liç sonrası elde edilen katı atık albit içerdiğinden Na-Feldspat olarak çeşitli sektörlerde kullanılabilmektedir.
- Yapılan ekonomik değerlendirme kapsamında 1 ton feldspattan KCl üretiminde hammadde açısından $CaSO_4$-NaCl karışımı ile yapılan prosesin $CaCl_2$ kullanılmasına göre daha ekonomik olduğu hesaplanmıştır.
- İleriki çalışmalarda $MgCl_2$ tuzu ve $CaSO_4$-$CaCO_3$ karışımı için daha yüksek sıcaklıklarda ısıl işlem yapılarak potasyum kazanılması üzerine çalışılabilir.

- Alternatif olarak KCl tuzu üretmek yerine bir diğer gübre hammaddesi olarak kullanılabilecek potas bileşiği olan K_2SO_4 üzerine kapsamlı çalışmalar yapılmalıdır.
- Çeşitli bakteriler kullanılarak potasyum çözünmesi sağlanması da son zamanlarda çalışılan konular arasındadır.

KAYNAKLAR

Al Rawashdeh, R., Xavier-Oliveira, E. ve Maxwell, P. (2016). The potash market and its future prospects. Resources Policy, 47, 154-163.

Bor, F. Y. (1989). Ekstraktif Metalurji Prensipleri-Kısım:2, İTÜ Matbaası, 1989.

Boyrazlı, M. (2015). Kimyasal Metalurji. https://malzemetreni.files.wordpress.com › 2015/03 › lic3a7 adresinden alındı.

Buckingham, D.A., Searls, J.P., Ober, J.A. ve Jasinski, S.M. (2015). Potash. Historical Statistics for Mineral and Material Commodities in the United States. https://www.usgs.gov/centers/nmic/historical-statistics-mineral-and-material-commodities-united-states#potash adresinden alındı.

Bulatovic, A.M. (2015). Beneficiation of Potash Ore. Handbook of Flotation Reagents: Chemistry, Theory and Practice, Volume 3: Flotation of Industrial Minerals, 36, 153-162.

Canbazoğlu, M. (1979). Sülfürlü Cevherlerin Hidrometalurjik Yöntemlerle Değerlendirilmesi, T.M.M.O.B.Maden Müh.Odası, Madencilik Dergisi, pp. 9-20.

Ciceri, D., Manning, D. A. ve Allanore, A. (2015). Historical and technical developments of potassium resources. Science of the total environment, 597.

Çelebioğlu, F.N. ve Türeli, K. (2001). Feldispat Grubu Mineralleri. Jeoloji Mühendisleri Odası, Mavi Gezegen Dergisi, Sayı 2001'4, syf. 60-63. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/0d0ec6d8c12df68_ek.pdf?dergi=MAV%DD%20GEZEGEN adresinden alındı.

Devlet Planlama Teşkilatı. (2001). Toprak Sanayii Hammaddeleri I. Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı.

Devlet Planlama Teşkilatı. (2018). Madencilik Politikaları. Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Onuncu Kalkınma Planı.

Garrett, D. E. (2012). Potash: deposits, processing, properties and uses. Springer Science & Business Media.

Gensource Potash Corp. (t.y.). Potash Mining Methods. https://gensourcepotash.ca/potash-mining/ adresinden alındı.

Ghalayini, Z.T. (2020). Feldspar And Nephelıne Syenıte. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries. https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020-feldspar.pdf adresinden alındı.

IPI, (t.y.). Production and Use of Potassium Chloride. International Potash Institute. https://www.ipipotash.org/uploads/udocs/Chap-1_potash_production.pdf adresinden alındı.

Jasinski, S.M. (2020). Potash. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries. https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020-potash.pdf adresinden alındı.

Jena, S. K., Misra, P. K. ve Das, B. (2016). Studies on extraction of potassium from feldspar by roast-leach method using phosphogypsum and sodium chloride. Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review, 37(5), 323-332.

Johnston, A.E. (2003). Understanding Potassium and Its Use in Agriculture. European Fertilizer Manufacturers Association.

Kacar, B. (2005). Potasyumun bitkilerde işlevleri ve kalite üzerine etkileri. Tarımda Potasyumun Yeri ve Önemi Çalıştayı, 20, syf. 23-27.

Kalium Lakes. (t.y.). Potash: Salt Lake Brine Processing. https://www.kaliumlakes.com.au/potash/#:~:text=There%20are%20three%20primary%20methods,Mannheim%20Process adresinden alındı.

Kangal, M.O., Bulut, G., Burat, F., Üçerler, Z. ve Türk, T. (2019a). Kırşehir Yüksek Kalsit İçerikli Vollastonitten Üretilecek Kalsiyum Klorür ile Katma Değeri Yüksek KCl Eldesine Yönelik Proses Geliştirilmesi. İTÜ, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü, Arge Projesi, Nihai Rapor.

Kangal, M.O., Burat, F., Güney, A., Türk, T. ve Şavran, C. (2019b). Yerli Potasyum Feldspat Cevherlerinden Yüksek Katma Değerli Potasyum Tuzlarının Eldesine Yönelik Proseslerin Geliştirilmesi. Tübitak 3001 Projesi, Nihai Rapor.

Korb, N., Jones, C., & Jacobsen, J. (2002). Potassium cycling, testing, and fertilizer recommendations. Nutrient Management Module, 5, syf. 2-3.

MTA. (t.y.). Feldispat (Feldspat). 14 Ocak 2021 tarihinde https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/feldispat adresinden alındı.

Orosco, P. ve del Carmen Ruiz, M. (2015). Potassium chloride production by microcline chlorination. Thermochimica Acta, 613, 108-112.

Orosco, P., Barrios, O. ve Ojeda, M. (2019). Extraction of Potassium from Microcline by Chlorination. Minerals, 9(5), 295.

Orris, G.J., Cocker, M.D. ve Dunlap, P. (2010). Potash-A Global Overview of Evaporite-Related Potash Resources, Including Spatial Databases of Deposits, Occurrences, and Permissive Tracts. U.S. Geological Survey, Bölüm 2, syf. 12.

Prud'homme, M. (2015). Potash. Canadian Encyclopedia. https://www.thecanadianencyclopedia.ca/en/article/potash adresinden alındı.

Rawat, J., Sanwal, P., & Saxena, J. (2016). Potassium and its Role in Sustainable Agriculture. Potassium Solubilizing Microorganisms for Sustainable Agriculture (pp. 235-253). Springer, New Delhi.

Ray, H. S., Sridhar, R. ve Abraham, K. P. (1985). Extraction of Nonferrous Metals, Affiliated East.

Samantray, J., Anand, A., Dash, B., Ghosh, M. K. ve Behera, A. K. (2020). Sustainable Process for the Extraction of Potassium from Feldspar Using Eggshell Powder. ACS omega, 5(25), 14990-14998.

Samantray, J., Anand, A., Dash, B., Ghosh, M. K., & Behera, A. K. (2019). Production of Potassium Chloride from K-Feldspar Through Roast–Leach-Solvent Extraction Route. Transactions of the Indian Institute of Metals, 72(10), 2613-2622.

Serdengeçti, M. T., Baştürkcü, H., Burat, F., & Kangal, M. O. (2019). The Correlation of Roasting Conditions in Selective Potassium Extraction from K-feldspar Ore. Minerals, 9(2), 109.

Şahin, G. (2016). Türkiye'de Gübre Kullanım Durumu ve Gübreleme Konusunda Yaşanan Problemler. Turkish Journal of Agricultural Economics, 22(1).

TAGEM. (2018). Gübre Sektör Politika Belgesi 2018-2022. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Ankara, syf. 95.

Tanvar, H. ve Dhawan, N. (2020). Recovery of Potash Values from Feldspar. Separation Science and Technology, 55(7), 1398-1406.

TMMOB Maden Mühendisleri Odası. (2010). Feldspat Raporu. ISBN: 978-9944-89-905-5.

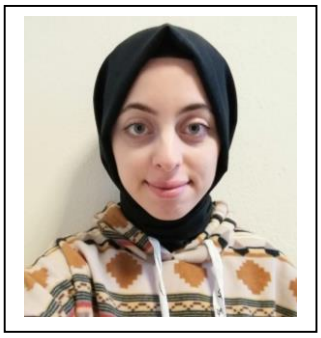
Yuan, B., Li, C., Liang, B., Lü, L., Yue, H., Sheng, H., ... ve Xie, H. (2015). Extraction of Potassium from K-feldspar via the $CaCl_2$ Calcination Route. Chinese Journal of Chemical Engineering, 23(9), 1557-1564.

Zhang, H., Sun, D. S. ve Bao, H. (2012). The Extraction of Potassium from Feldspar by Molten Salt Leaching Method with Composite Additives. Advanced Materials Research, 524, 1136-1139.

Zhang, Y., Asselin, E. ve Li, Z. (2018). Laboratory and Pilot Scale Studies of Potassium Extraction from K-feldspar Decomposition with $CaCl_2$ and $CaCO_3$. Journal of Chemical Engineering of Japan, 49(2), 111-119.

Zhong, Y., Gao, J., Chen, P. ve Guo, Z. (2017). Recovery of Potassium from K-feldspar by Thermal Decomposition with Flue Gas Desulfurization Gypsum and $CaCO_3$: Analysis of Mechanism and Kinetics. Energy & Fuels, 31(1), 699-707.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Tülay Türk

Doğum Tarihi ve Yeri :

E-posta :

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2018, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek Lisans** : 2021, İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Cevher Hazırlama Mühendisliği Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- **2018** – İstanbul Teknik Üniversitesi – Araştırma Görevlisi
- **2018** – Türk Maadin Şirketi A.Ş. – Stajyer (10 iş günü)
- **2018** – Tübitak Marmara Araştırma Merkezi – Stajyer (15 iş günü)
- **2016** – Gümüştaş Madencilik – Stajyer (20 iş günü)

ÇALIŞILAN PROJELER

2017-2018 : Kritik Koagülasyon Konsantrasyonunun Flotasyon Verimlerine Etkisi, Tübitak 1001 Projesi

2019 : Kırşehir Yüksek Kalsit İçerikli Vollastonitten Üretilecek Kalsiyum Klorür ile Katma Değeri Yüksek KCl Eldesine Yönelik Proses Geliştirilmesi, İTÜ Döner Sermaye AR-GE Projesi

2019-2020 : Yerli Potasyum Feldspat Cevherlerinden Yüksek Katma Değerli Potasyum Tuzlarının Eldesine Yönelik Proseslerin Geliştirilmesi, Tübitak 3001 Projesi

2019 : Feldspat Cevherlerinden Potasyum Ekstraksiyonunun Ekonomik Eldesi, İTÜ BAP Yüksek Lisans

2020 : Kütahya/Gümüşköy Göze Çukuru Sülfürlü Çinko Cevherinin Flotasyonla Zenginleştirilmesi, İTÜ Döner Sermaye İşl. Projesi

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

Tunç, B., Türk, T., Güven, O., Çelik, M.S. 2019. Alteration of Surface Morphology in Barite and Colemanite. *XVIIth Balkan Mineral Processing Congress (BMPC 2019), Duress ALBANIA*, 23-26 May, Proccedings Book, Eds K. Fethau, G. Demi, A. Bode, E. Toska.

Türk, T., Göçer, S., Güner, M.K., Ersoy, B., Kalyoncu, E., Bulut, G. 2019. Developments in Flotation Technology. *International Mineral Processing Conference Eurasia 2019, IMPC-EURASIA 2019*, Antalya-Turkey, Oct. 31-Nov 2, 2019, IMPC-EURASIA 2019 Proccedings Book, Eds Bulut, G., Yüce, A.E., Önal, G., ©2019 YMGV ISBN:978-975-7946-44-1, pp. 310-321.

Türk, T., Güven, O., Çelik, M.S. 2017. Colloidal properties of titanium dioxide stabilized pickered emulsions. *17. Balkan Cevher Hazırlama Kongresi*, Türkiye, Antalya, Lara.

Türk, T., Perek, K.T. 2018. Baritin tane şekil özelliklerinin belirlenmesi. *Yerbilimlerinde Öğrenci Bitirme Tasarım Projeleri Sempozyumu ve Sergisi*, Türkiye, İstanbul, Maslak.

Türk, T., Perek, K.T., Karakaş, F., Çelik, M.S. 2018. Effect of Grinding Time on Particle Shape in Barite/SDS Flotation System. *16. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu*, Türkiye, Antalya, Belek.