

TEKNOFEST
HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ
FESTİVALİ

ÇEVRE VE ENERJİ TEKNOLOJİLERİ
YARIŞMASI
PROJE DETAY RAPORU

TAKIM ADI: İÜC KMK

PROJE ADI: SELEKTİF LİTYUM GERİ KAZANIMINI SAĞLAYAN ADSORBAN SENTEZİ VE LİTYUM İYON PİLLERDE KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

BAŞVURU ID: 419631

İçindekiler

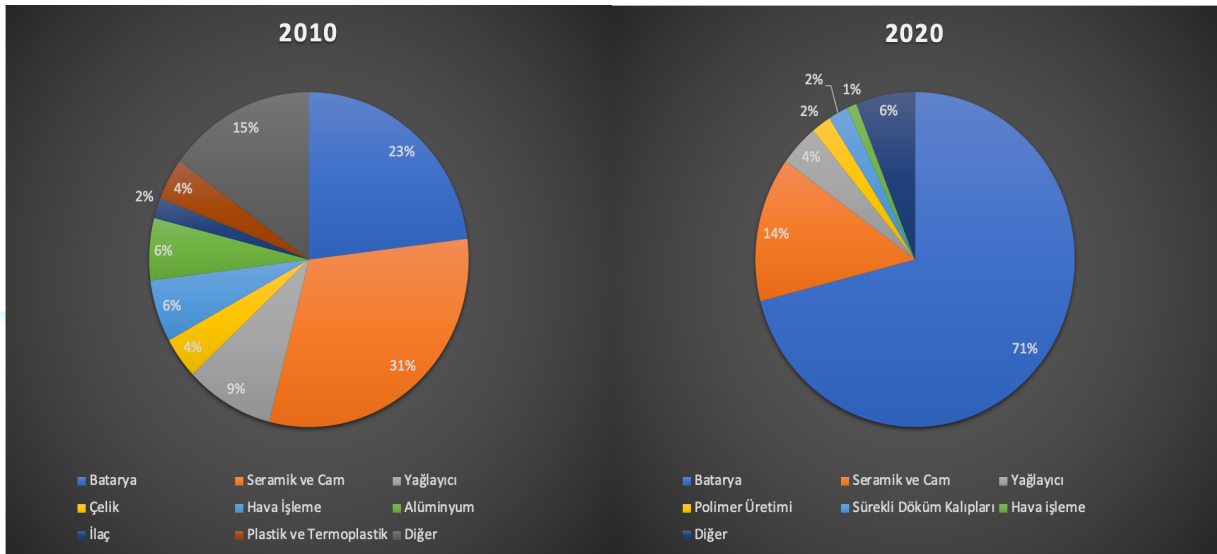
1. Proje Özeti (Proje Tanımı)	3
2. Problem/Sorun.....	4
3. Çözüm	5
4. Yöntem	5
5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü.....	7
6. Uygulanabilirlik	8
7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması	8
8. Proje Fikrinin Hedef Kitle (Kullanıcılar)	9
9. Riskler	10
10. Kaynakça.....	12



1. Proje Özeti (Proje Tanımı)

Periyodik tabloda 1. grupta yer alan atom numarası 3 ve sembolü “Li” olan Lityum elementi, 1817 yılında Johan August tarafından bulunmuştur.

Lityum, yüksek enerji yoğunluklu pillerin en umut verici formlarından birinin ana bileşeni olan hafif ve oldukça reaktif bir metaldir. Lityum, seramik, cam, metalürji, ilaç ve polimerler için kritik bir malzemedir. Ayrıca lityum, elektrikli araç pilleri için kullanılmaktadır. Elektrikli araçlar otomobil pazarından önemli bir pay alırken, lityum üretiminin de araç talebiyle orantılı olarak büyümesi gerekmektedir.



Grafik 1: 2010-2020 yılları arasında lityum tüketiminin farklı sektörlerdeki payının değişimi (USGS, 2010, 2021)

Pil ve batarya sektörü, lityum kullanımında en büyük paya sahiptir. Şarj edilebilir lityum iyon pillerle çalışan elektrikli araç pazarındaki büyümenin etkisiyle, küresel lityum talebinin 2025 yılına kadar üç katına çıkması ve 2030 yılına kadar iki milyon tona ulaşması beklenmektedir.

Lityum ve bileşikleri için pazar gereksinimi, farklı alanlarda yaygın olarak kullanımından dolayı sürekli olarak artmaktadır [1]. Lityum, esas olarak cevher, tuzlu su ve deniz suyunda bulunur ve sıvı lityum kaynakları yaklaşık %60'ını oluşturur [1,2]. Son zamanlarda, cevherden geleneksel lityum çıkarma işlemi, büyük enerji tüketimi gerektirmesi nedeniyle pazarın taleplerini karşılayacak etkin bir yöntem olmaktan uzaktır.

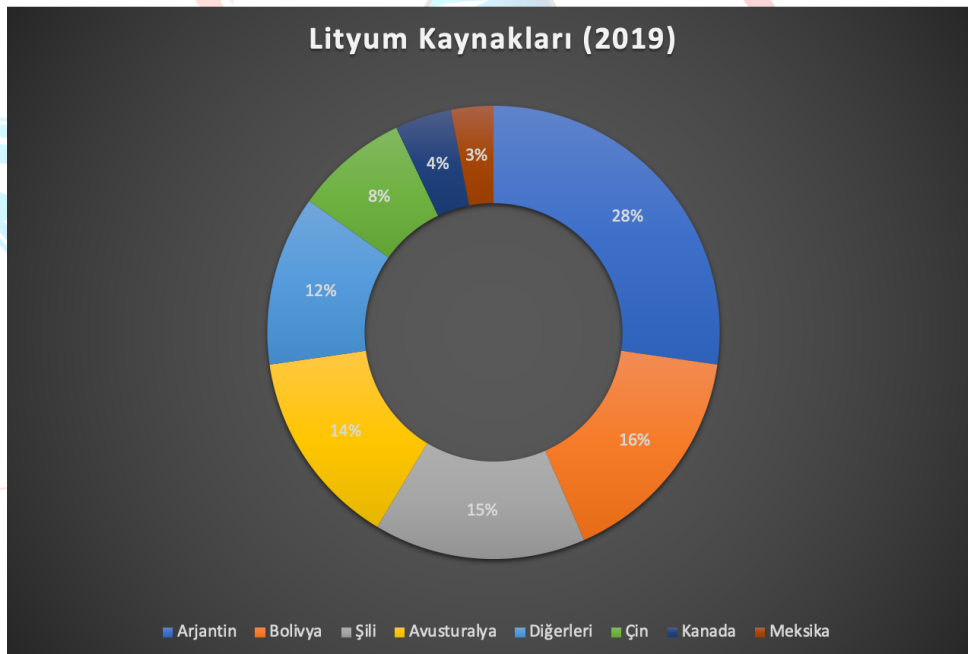
Lityum, atık ve/veya jeotermal sulardan çöktürme, çözücü ekstraksiyonu, membran vb. gibi birçok farklı yöntem ile elde edilebilmektedir. Ancak adsorpsiyon yöntemi diğer yöntemlere göre uygulama kolaylığı, düşük enerji tüketimi, çevre dostu oluşu ve etkinlik bakımından daha üstündür [3, 4].

Projemizin amacı, Türkiye’de üretim yöntemleri ve kaynakları çok kısıtlı olan ancak geniş bir uygulama alanına sahip lityumun, atık ve/veya jeotermal sulardan geri kazanımına yönelik lityum iyonuna duyarlı adsorban sentezlenmesi ve bu adsorbanın seçici lityum adsorpsiyonu sonrası doğrudan lityum iyon pillerde katot malzemesi olarak kullanımının

gerçekleştirilmesidir [1]. Projemizde lityum adsorpsiyonu için ilk defa takımımız tarafından sentezlenecek bir çift tabakalı hidroksit adsorban kullanılacaktır.

2. Problem/Sorun

Lityum iyon pillerin dünyada büyük çaplı kullanımıyla birlikte, lityum kaynaklarına yönelik küresel talep çarpıcı biçimde artmış bulunmaktadır [5, 6]. Lityum elde edilme yöntemlerinden biri olan lityum madenciliğinin, yer üstü ve yer altı kaynaklarındaki suları ve yeşil alanları hızlı bir şekilde tükettiği bilinmektedir. Bu kadar geniş ve önemli uygulama alanlarına sahip bu hammaddenin ülkemizdeki kaynakları ve buna bağlı geri kazanımı da oldukça sınırlı kalmaktadır. Bununla birlikte ülkemizde, yeterli miktarda yer altı lityum kaynağı da mevcut bulunmamaktadır. Bu durumun enerji teknolojileri açısından oldukça büyük bir önemi olan lityum iyon pillerin üretimini de sınırlamakta olduğu ve ülkemizin dışa bağımlılığını arttırdığı görülmektedir.



Grafik 2: Ton cinsinden global lityum kaynak dağılımı
(Global X Research, US Department Of Interior US Geological Survey)

Grafikte de görüldüğü üzere ülkemiz lityum kaynakları açısından global lityum kaynakları gösterimine tek başına giremeyecek kadar fakirdir [7]. Lityum kullanımında ülkemizin dışa bağımlılığını azaltmak ve milli gelire katkı sağlamak amacıyla yeni kaynak arayışına gidilmesi gerekmektedir. Artan talebi karşılamak için bilinen yöntemlere ek olarak jeotermal sulardan lityum kazanımı oldukça popüler bir araştırma konusu haline gelmiştir Dünya üzerinde ve ülkemizde de özellikle Afyonkarahisar'da bol miktarda jeotermal su kaynağı bulunmaktadır. Jeotermal ve atık sularından adsorpsiyon yöntemi ile elde edilebilecek lityum miktarı ülkemiz açısından önemli bir ekonomik gelir kaynağı olma ya da bu konuda dışa

bağlılığın azaltılması niteliği taşımaktadır. Bu nedenle ülkemizde bulunan jeotermal su kaynakları yerli ve milli bir lityum üretimi için potansiyel kaynak durumundadır.

3. Çözüm

Yukarıda bahsi geçen problemlerin önüne geçebilmek adına atık ve/veya jeotermal suların lityum kaynağı olarak kullanılarak üretim prosesi boyunca çevreye verilen zararın hem ez aza indirilmesini hem de ülkemizde enerji teknolojilerinde oldukça yaygın bir şekilde kullanılan lityum iyon pillerin üretiminde dışa bağımlılığın azaltılması için sentezi ilk defa takımımız tarafından gerçekleştirilecek olan adsorban ile öncelikle lityum, seçici olarak adsorbe edilecek ardından lityum iyon pillerde kullanımı araştırılacaktır. Bunun için takımımız tarafından adsorban olarak literatürde de birçok uygulaması olan çift tabakalı hidroksitler sentezlenecek olup lityum iyonuna selektivitesi sağlanacaktır. Atık ve/veya jeotermal sulardan seçici lityum adsorpsiyonu sonrası bu adsorbanın lityum iyon pillerdeki performansı ve/veya etkinliği araştırılacaktır.

Nasıl bir yol izleyeceğiz?



Çizelge 1 - Projenin Yol Haritası

4. Yöntem

Alüminyum hidroksit adsorbanların en etkili çeşitlerinden biri çift tabakalı lityum-alüminyum hidroksitlerdir. Jeotermal sular da dahil olmak üzere karmaşık çözeltilerden lityum eldesi için etkili oldukları kanıtlanmıştır

İŞ PAKETİ 1 - Lityum Selektif Adsorban Sentezi:

Başlangıç malzemeleri olarak lityum hidroksit ($\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$), alüminyum nitrat ($\text{Al}(\text{NO}_3)_3\cdot 9\text{H}_2\text{O}$) ve kobalt nitrat ($\text{Co}(\text{NO}_3)_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$) kullanılmaktadır. Sırasıyla 1:3:1 mmol olacak şekilde 25 ml deiyonize su içerisinde çözülür. Sonrasında 0,2 M NaOH ve 0,05 M Na_2CO_3 karışımı içerisine çok hızlı bir şekilde karıştırken çözeltinin pH'ı 10'a gelecek şekilde hazırlanan tuz çözeltisi damla damla ilave edilir. Sonrasında hazırlanan çözelti 90 °C'de 6 saat boyunca yaşlanmaya (aged) bırakılır. Sonrasında çökelen katı filtre edilerek ayrılır ve 24 saat boyunca 60 °C'de kurumaya bırakılır. Bu adsorban sentez işleminde farklı mol oranları da denenecektir, optimizasyon sonunda en uygun olanla devam edilecektir.

Adsorbanı lityuma duyarlı hale getirmek için belirli konsantrasyonlarda çözeltileri hazırlanacak, ardından başlangıçta alınan lityum oranına eşdeğer molar miktarda HCl çözeltisi bu çözeltiler üzerine damla damla damlatılarak yapıdaki Li^+ ile H^+ iyonlarının yer değiştirmesi sağlanarak lityum selektivitesi sağlanacaktır. Çift tabakalı hidroksit yapısının bozulmaması adına çözeltinin pH'ı 5,5 üzerinde tutulacaktır. İyon değişimi sonrası karışım 1-2 saat daha karıştırıldıktan sonra süzülür ve ortamda kalan ekstra tuz konsantrasyonundan uzaklaşması için deiyonize su ile yıkanır [8].

İŞ PAKETİ 2 - Karakterizasyon:

Elde edilen adsorbanın yapısal karakterizasyon işlemleri için FTIR ve XRD kullanılacaktır. Bu işlemler için İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Kimya Mühendisliği Bölümü altyapısı kullanılacaktır. Çalışmanın ilerleyen aşamasında gerekli görülürse SEM analizi de gerçekleştirilecektir.

İŞ PAKETİ 3 - Lityum Adsorpsiyon Deneyleri:

LDH adsorbanların lityum selektivite kapasitesinin belirlenmesi için öncelikle Li^+ stok çözeltisi laboratuvar ortamında hazırlanır. 200 ppm'lik stok çözeltisi hazırlandıktan sonra 50, 10, 5, 2, 1 ppm'lik çözeltiler bu stok çözeltilerden hazırlanarak, 24 saatin sonunda lityum adsorbe eden LDH adsorbanlar süzülür, deiyonize su ile yıkanır ve tutma kapasitelerinin belirlenmesi için ICP-MS analizine gönderilir [9, 10]. Burada özellikle vurgulamak isteriz ki izoterm çalışmaları da yapılacaktır. Ancak bu bir yarışma olduğu ve bir bilimsel çalışma olmadığı için çalışma detayları TEKNOFEST yarışmasının finaline kalırsa final günü sunumlarda verilebilecektir.

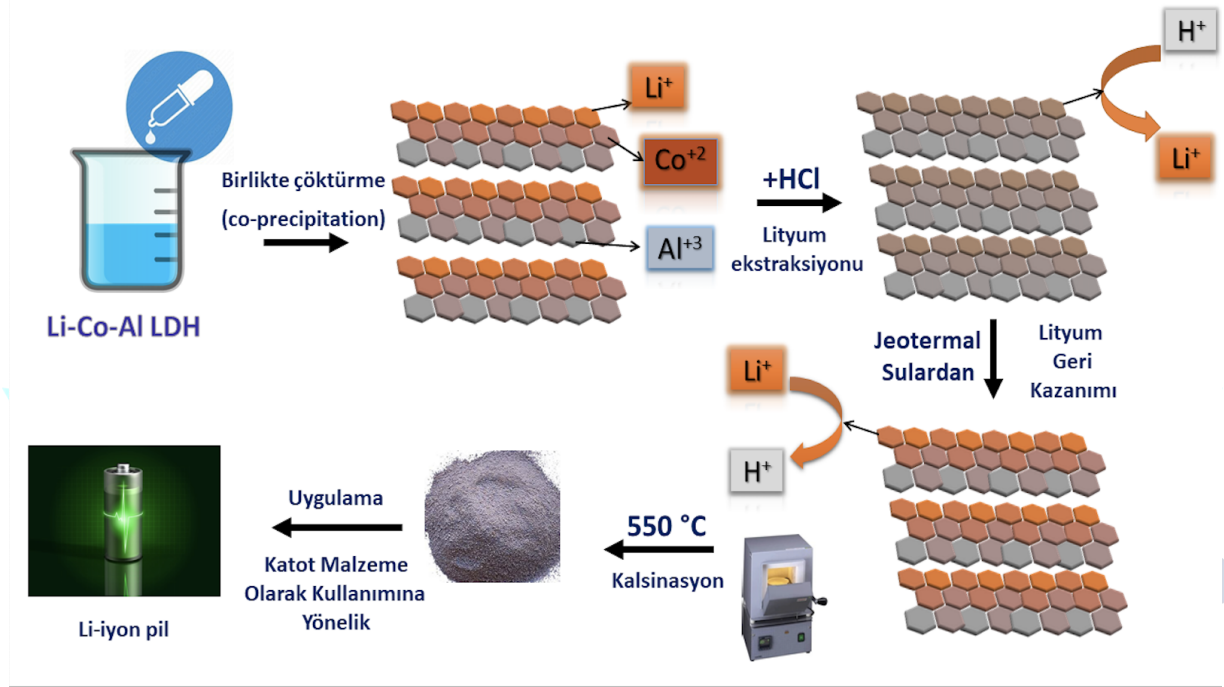
Lityum stok çözeltisi çalışmaları sonrası uygun bulunan adsorban miktarı ile denemeler Afyonkarahisar bölgesinden örnek olarak alınacak jeotermal su ile tekrarlanacaktır. Literatür detaylı bir şekilde incelendiğinde jeotermal suların lityum iyon miktarının genellikle 2 ppm seviyelerinde olduğu bilindiğinden özellikle bu seviyedeki adsorban miktarı, pH, sıcaklık vb. ortam şartları sabit tutulacaktır. Adsorpsiyon işlemi ardından LDH adsorbanlar süzülecek, deiyonize su ile yıkanıp tutma kapasitelerinin belirlenmesi yani Li konsantrasyonlarının belirlenmesi için ICP-MS analizine gönderilecektir.

İŞ PAKETİ 4 - Adsorpsiyon İşlemi Sonrası Lityum İyon Pillerde Katot Materyali Olarak Kullanımı:

Adsorpsiyon işlemi sonrası adsorban 550 °C'de 4 saat kadar kalsinasyon işlemine tabi tutulduktan sonra adsorban Ni köpük ya da camsı karbon elektrot (glassy carbon electrode –

GCE) üzerine hidrotermal yolla kaplanır ve cihaza yerleştirilir. Referans elektrot olarak Li/Li^+ , karşıt (counter) elektrot olarak “platin” kullanılmaktadır.

3 elektrotta (referans, counter ve çalışma) “lityum hekzaflorofosfat (EC-DMC LiPF_6) çözeltisinin” içine daldırılır. Çalışma elektrodu durgun veya hareketli iken cyclic voltammetry denemesi yapılacaktır. 0V ve 5V arasında tarama hızı 20 veya 50 mV/sec olacak şekilde taratma yapılacaktır. Bu deneme sonucuna göre galvanostatic charge – discharge ve optimum çalışma voltu belirlenecektir. Sonucunda katot tarafında oluşan pikin maksimum değeri ölçülecektir [11].



Çizelge 2: Yöntem Basamakları

5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü

Projemizin yenilikçi yönü, ülkemizde yeterli kaynağı olmayan lityumun takımımız tarafından ilk defa sentezlenecek olan çift tabakalı hidroksit adsorban sentezinin sağlanarak geri kazanımının sağlanması ve sonrasında bu adsorbanın doğrudan lityum iyon pillerde kullanılabilirliğine yönelik araştırmaların yapılmasıdır.

Deniz suyundan ve lityum içeren diğer çözeltilerden seçici olarak lityum kazanımı için güçlü asit katyon değiştirici reçinelerin kullanılması, 1970’lerden beri araştırılmaktadır. Piyasada tuzlu sulardan direkt lityum ekstraksiyonu için kullanılmakta olan organik ve inorganik adsorbanlar bulunmaktadır. Yapılan çalışmalar, organik iyon değiştirici reçinelerin lityum iyonları için düşük seçicilik sergilediğini göstermiştir. İyon değiştirici reçineler, yalnızca inorganik lityum seçici adsorbanlarla emprenye edildiğinde lityum ekstraksiyonu için etkili hale gelmektedir. İnorganik olarak çeşitli alüminyum hidroksitler ($\text{Al}(\text{OH})_3$) [12], alüminyum oksitler (Al_2O_3) [12], mangan oksitler (MnO_2) ve titanyum oksitler (TiO_2) kullanılmaktadır.

Projemizi hali hazırda kullanılmakta olan ürünlerden ayıran kısım, çift tabakalı hidroksitin sentezinde farklı tuz karışımlarının (kobalt-alüminyum-lityum ve/veya kobalt-

lityum vb.) denenecek olmasıdır. Burada, özellikle projemizin özgün yanını oluşturan kobalt tuz örneklerinin kullanılmasındaki en önemli amaç ise seçici lityum adsorpsiyonu sonrası lityum iyon pillerde katot materyali olarak direkt adsorbanın kendisinin kullanılmasını sağlamaktır. Bu sayede hem çevreye atık olarak salınan lityumun geri kazanımı sağlanırken hem de adsorban ile birlikte doğrudan tekrar kullanımı sağlanabilecektir.

6. Uygulanabilirlik

Uygulanabilirlik açısından bakıldığında lityum iyonuna selektif çift tabakalı hidroksit adsorbanının sentezinde takımımız adına herhangi bir sorun görülmemektedir. Ancak selektif lityum adsorpsiyonu kısmında adsorban yeterli geri kazanım miktarı göstermezse amonyum florür ve/veya amonyum sülfür ile lityum iyonuna selektivitesinin artırılması hedeflenecektir. Yapılan araştırmalar ile çalışmanın temel ilkelerinin gözlenmesi ve raporlanması; çalışmanın karakteristik özellikleri ve uygulama alanındaki kullanılabilirliği safhalarının tamamlanmış olması durumunda; proje bitiminde THS 5 seviyesine gelinmesi planlanmıştır. Projenin öngörülen teknoloji hazırlık seviyesine ulaşılması durumunda ulusal ve uluslararası “patent” başvurularında bulunulacaktır. Projemizin patent aşamasının tamamlanması durumunda sentezleyeceğimiz adsorbanın ilgili firmalara satılabileceği öngörülmektedir.

7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması

İş Paketi	İş Paketlerinin Adı ve Hedefleri	Kimler Tarafından Gerçekleştirileceği	Zaman Aralığı	Başarı Ölçütü ve Projenin Başarısına Katkısı
1	Lityum Selektif Adsorban Sentezi	Koray Canbulat, Zeynep Janset Yüksel	1 - 1,5 hafta	Adsorbanın başarılı bir şekilde çift tabakalı hidroksit olarak sentezinin gerçekleşmesi, %30
2	Karakterizasyon	Zeynep Kurtuluş, Fehimenur Akyel	0,5 hafta	Sentezlenen adsorbanın karakterizasyonlarında çift tabakalı hidroksit yapısına ve tabakalı yapıya sahip olduğunun kanıtlanması, XRD ve FTIR sonuçları değerlendirmede çok önemli, %15
3	Lityum Adsorpsiyon Deneyleri	Koray Canbulat, Zeynep Kurtuluş	0,5 - 1 hafta	Lityuma selektif bir şekilde adsorplama işleminin gerçekleşmesi, %35
4	Adsorpsiyon İşlemi Sonrası	Fehimenur Akyel, Miray Arabacı	1 hafta	Lityum iyon pillerde kullanımına yönelik

	Lityum İyon Pillerde Katot Materyali Olarak Kullanımı			testlerde literatürde yer alan çalışmalarda var olan değerler ulaşılması, %20
5	Sonuçların İstatistiki Olarak Değerlendirilmesi ve Raporlanması	Tüm takım üyeleri	1 hafta	Burada sonuçların toplu bir değerlendirilmesi yapılacağından başarı ölçütü yüzdesi değeri verilmesine gerek görülmemiştir.

Belirtilen İş Paketlerinden 1, 2 (sadece FTIR karakterizasyonu) ve 3 numaralı paketler İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü Kimyasal Teknolojiler Anabilim Dalı, Doç. Dr. Mehmet Koray GÖK'ün çalıştığı laboratuvarlarda, İş Paketi 2 içerisinde kalan diğer karakterizasyon denemeleri hizmet alımı yapılarak ve İş Paketi 4 ise İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Mühendislik Fakültesi Kimya Bölümü Fizikokimya Anabilim Dalı, Doç. Dr. Sinem ORTABOY'un çalıştığı laboratuvarlarda gerçekleştirilecektir.

Zaman aralıklarında belirlenen hafta değerlerinin aynı zamanda birbirinin içerisinde olarak değerlendirilmesi daha doğru olur. Örneğin İş Paketi 1'de yer alan adsorban sentezi gerçekleştirilirken karakterizasyon işlemleri de hemen akabinde yapılacaktır.

Tablo 1: Proje Maliyet Planlaması

Maliyet Listesi		Tahmini Fiyatı
Kimyasal Malzemeler	Lityum hidroksit Alüminyum nitrat Kobalt nitrat Na ₂ CO ₃ HCl Nikel köpük ya da camsı karbon elektrot Referans elektrot olarak Li/Li ⁺ ...	8000 ₺
Karakterizasyonlar ve Test Yöntemleri		5000 ₺

8. Proje Fikrinin Hedef Kitle (Kullanıcılar)

Lityumun en önemli kullanım alanı şarj edilebilir lityum iyon pillerdir. Lityum iyon piller elektrikli araçlar, şarj edilebilir enerji depoları, telefonlar, oyun konsolları, kameralar ve dizüstü bilgisayarlarda kullanılır. Bunun yanında lityum, seramik ve cam yapımında, yağlayıcı ve sertleştirici maddelerin bileşiminde, A vitamini sentezinde, nükleer santrallerde

soğutucu olarak ve roketlerde itici kuvvet sağlamada kullanılır. Ayrıca lityum bileşikleri, beyin rahatsızlıkları ve psikolojik hastalıkların tedavisinde kullanılan ilaçların içeriğinde de yer alır [4]. Bu gibi alanlarda çalışmakta olan şirketlerin lityum iyon pil üretimi için gerekli olan lityum eldesinde projemizi kullanabileceği öngörülmektedir.

9. Riskler

Projeyi olumsuz etkileyecek risklerin tespit edilmesi için Tablo 3' de bulunan olasılık * etki içeren risk matrisi kullanılmıştır. Bu tabloya göre riskin gerçekleşme olasılığı çok yükselten çok düşüğe doğru, buna karşın olasılığın gerçekleşmesi sonucunda projemizde etki edeceği etken de çok yüksekte çok düşüğe doğru bir matris oluşturacak şekilde sıralanmıştır. Bu planlamaya göre iş paketlerine karşı oluşabilecek olasılıklar ve etkiler puanlanarak aralarındaki çarpım sonucunda risk puanı belirlenmiş ve buna bağlı B planları üretilmiştir.

Tablo 2: Risk Matrisi

Olasılık * Etki			Etki				
			Çok Yüksek	Yüksek	Orta	Düşük	Çok Düşük
			5	4	3	2	1
Olasılık	Çok Yüksek	5	25	20	15	10	5
	Yüksek	4	20	16	12	8	4
	Orta	3	15	12	9	6	3
	Düşük	2	10	8	6	4	2
	Çok Düşük	1	5	4	3	2	1

Tablo 3: Risk Yönetimi Tablosu

İş Paketi	Karşılaşılabilecek Riskler	Olasılık	Etki	Olasılık * Etki	Risk Yönetimi (B Planı)
1	Adsorban sentezinin yeterli miktarda gerçekleşmemesi	1	3	3	Öncelikle farklı optimizasyon teknikleri denenecektir. Süre, karıştırma hızı, sıcaklık vb. İstenen seviyeye gelmemesi durumunda literatürde var olan lityum -alüminyum çift tabakalı hidroksit sentezi gerçekleştirilip, kobalt oksit ile yüksek sıcaklıkta oksijenli ortamda amalgam oluşturma deneyi ile

					adsorban sentezi gerçekleştirilecektir.
2	Karakterizasyon işlemi sonrası yapının oluşmaması ya da tabakalı yapının oluşmaması tespiti	1	3	3	İş Paketi 1 ile bağlantılı bir iş paketi olduğundan B planı olarak benzer yöntemler uygulanacaktır.
3	Lityum selektivitesinin yeterli düzeyde olmaması	2	4	8	Projemizin diğer iş paketlerine nazaran en riskli kısmı burasıdır. Böyle bir riskin yaşanması durumunda özellikle seçiciliğin sağlanması konusunda kullanılan HCl konsantrasyonu değiştirilecektir. Yeterli gelmemesi durumunda sentez sırasında konulan Lityum miktarı artırılarak yapıda en başta daha fazla yer alması sağlanacaktır.
4	Sentezlenecek adsorbanın doğrudan lityum iyon pillerde katot materyali olarak kullanımına yönelik uygulamalarda verimlilik açısından yeterli sonuç alınamaması	2	3	6	Doğrudan adsorban kendisinin kullanımı yerine adsorbe edilen lityumun adsorban üzerinden salımı sağlanarak, kobalt oksit reaksiyonunu sağlamak ve katot malzeme üretimi gerçekleştirip lityum iyon pillerde kullanıp kullanılmayacağına yönelik uygulaması incelenecektir.
5	Bu iş paketinde tüm sonuçların değerlendirilmesi ve raporlanması yer alacağından herhangi bir risk öngörülmemektedir.	-	-	-	-

10. Kaynakça

1. Weng D., Duan H., Hou Y., Huo J., Chen L., Zhang F., Wang J., 2020, *Introduction of manganese based lithium-ion Sieve-A review*, Progress in Natural Science: Materials International, 30, 139-152.
2. Paranthaman M., Li L., Luo J., Hoke T., Ucar H., Moyer BA., 2017, Harrison S., *Recovery of Lithium from Geothermal Brine with Lithium–Aluminum Layered Double Hydroxide Chloride Sorbents*, Environmental Science & Technology, 51, 22, 13481-13486.
3. Flexer, V., Baspineiro, C. F., & Galli, C. I. (2018). *Lithium recovery from brines: A vital raw material for green energies with a potential environmental impact in its mining and processing*. Science of The Total Environment, 639, 1188–1204
4. Xu, P., Hong, J., Qian, X., Xu, Z., Xia, H., Tao, X., ... Ni, Q.-Q. (2020). *Materials for lithium recovery from salt lake brine*. Journal of Materials Science, 56(1), 16–63.
5. <https://investingnews.com/daily/resource-investing/battery-metals-investing/lithium-investing/lithium-reserves-country/>
6. <http://lithiumfuture.org/map.html>
7. <https://www.globalxetfs.com/lithium-explained/>
8. Qian F., Zhao B., Guo M., Qian Z., Wu Z., Liu Z., 2020, *Trace doping by fluoride and sulfur to enhance adsorption capacity of manganese oxides for lithium recovery*, Materials & Design, 194, 108867
9. Stringfellow W. T., Dobson P. F., *Technology for Lithium in the Context of Hybrid Geothermal Power*, PROCEEDINGS, 46th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, February 15-17, 2021 SGP-TR-218
10. Zhao K., Tong B., Yu X., Guo Y., Xie Y., Deng T., 2021, *Synthesis of porous fiber-supported lithium ion-sieve adsorbent for lithium recovery from geothermal water*, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894721030047>
11. Pasta, M., Battistel, A., & La Mantia, F. (2012). *Batteries for lithium recovery from brines*. Energy & Environmental Science, 5(11), 9487.