

# GÜÇ SİSTEMLERİ KONFERANSI IV



## TÜRKİYE ENERJİ DEPOLAMA GELİŞİM SÜRECİNDE SODYUM İYON BATARYALARIN YERİ The Role of Sodium Ion Batteries in Turkey's Energy Storage Development Process

Nil Gülrü YÜCE  
Elektrik Elektronik Mühendisliği Lisans Öğrencisi

Bildiri ID Numarası: 0145



# GİRİŞ

- Günümüzde dünyanın enerji ihtiyacının büyük bir kısmı rezervleri sınırlı olan ve hızla yüklenen petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil yakıtlardan karşılanmaktadır.
- Bu nedenle çevreci ve sınırsız rezervli yenilenebilir enerji sistemlerine geçiş hedeflenmektedir
- Yenilenebilir enerjinin kesintili yapısı enerji depolama sistemlerini zorunlu kılmaktadır. Bu alanda en yaygın teknoloji lityum iyon bataryalardır.
- Mevcut literatür sodyum iyon bataryaları genellikle teknolojik bir alternatif olarak incelerken bu bildiri, konuyu Türkiye özelinde stratejik bir gereklilik olarak ele almaktadır.

# Lityum İyon Bataryalara Olan Bağımlılık

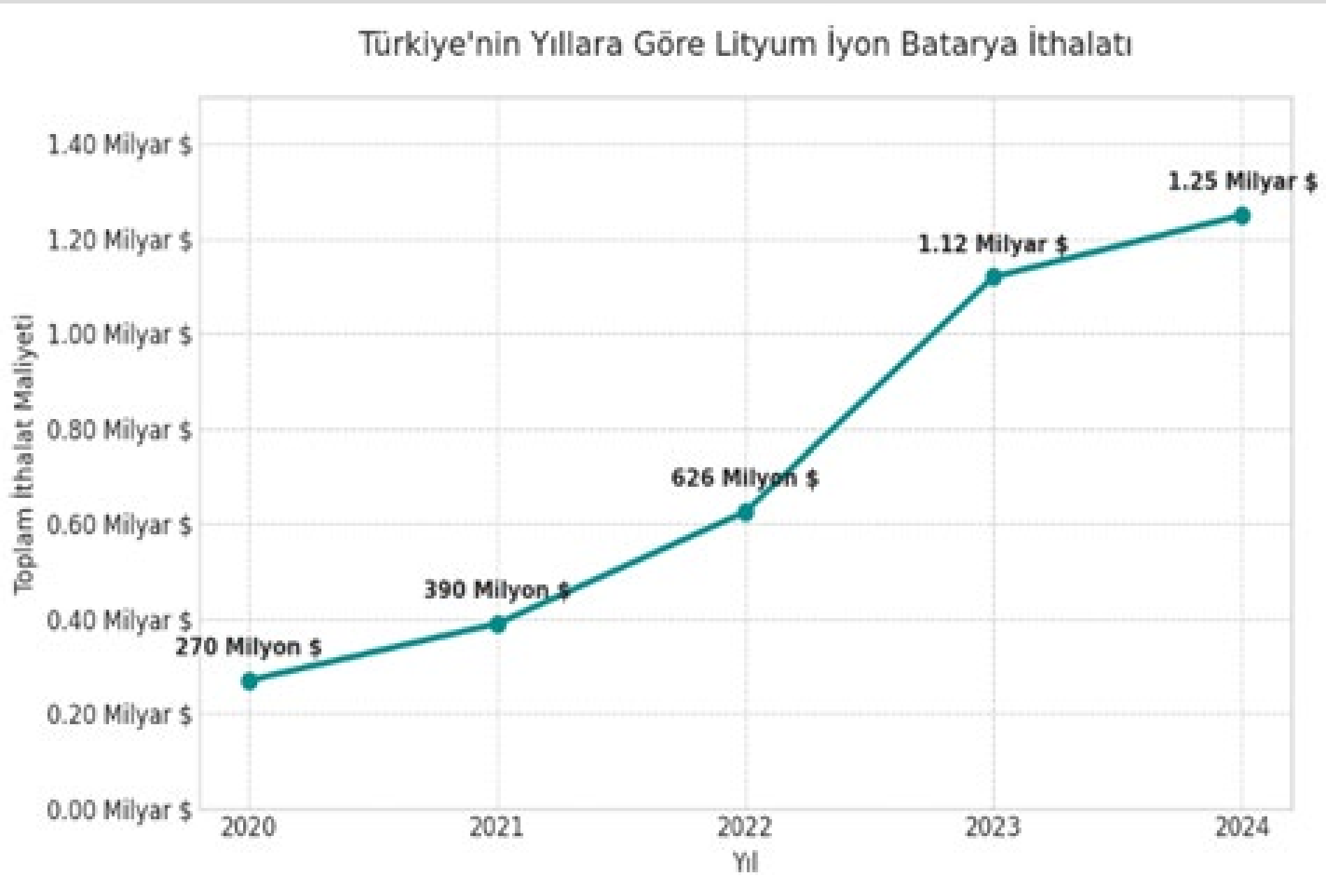
Li-ion bataryalar günümüzde performans lideri olsa da, bu teknolojiye artan talep, ciddi stratejik riskler barındırmaktadır .

- Sınırlı Kaynaklar
- Coğrafi Yoğunlaşma
- Maliyet Artışları

Lityum kaynaklarına sahip olmayan Türkiye için bu durum, teknolojik ve ekonomik bir dışabağımlılık anlamına gelmektedir.

# Verilerle Lityum İyon İthalatı

Birleşmiş Milletler Comtrade Veritabanı'ndan alınan veriler, Türkiye'nin Li-ion batarya ithalat maliyetindeki dramatik artışı göstermektedir.



- İthalat maliyeti son dört yılda katlanarak artmış ve yıllık 1 milyar doları aşan bir maliyet kalemine dönüşmüştür.

# LİTERATÜRE KATKI

Bu çalışma genel SİB analizlerinin ötesine geçerek Türkiye özelinde spesifik bir analiz sunmaktadır:

1. Ekonomik Yükün Tespiti
2. Stratejik Eşleştirme
3. Bütüncül Tekno-Ekonomik Analiz
4. Yerli Potansiyel Hesabı

# Küresel Lityum Tedarik Riski - Rezervler

USGS2024 raporuna göre:

- Şili: %31.0
- Avustralya: %23.3
- Arjantin : %13.3
- Çin: %10.0

Dünya lityum rezervlerinin yaklaşık %77,6'sı bu dört ülkede bulunmaktadır.

Bu bölgesel yoğunluk, lityum tedarik zincirinin fazlasıyla hassas olduğunu göstermektedir.

2024 yılında belirlenen lityum rezervlerinin ülkelere göre dağılımı

Sıra	Ülkeler	Dünya Rezervi (Ton)	Dünya Payı
1	Şili	9.300.000	%31,0
2	Avustralya	7.000.000	%23,3
3	Arjantin	4.000.000	%13,3
4	Çin	3.000.000	%10,0
5	ABD	1.800.000	%6
6	Kanada	1.200.000	%4
7	Zimbabve	480.000	%1,6
8	Brezilya	390.000	%1,3
9	Portekiz	60.000	%0,2
10	Diğer Ülkeler	2.814.000	%9,38
11	Toplam (Yaklaşık)	30.000.000	%100,0

# Küresel Lityum Tedarik Riski - Üretim

Üretim, rezervlerden daha da yoğunlaşmış durumdadır:

- Avustralya: %37.0
- Şili: %20.59
- Çin: %17.23
- Zimbabve: %9.24

Dünya lityum üretiminin yaklaşık %84'ü bu dört ülkede yapılmaktadır.

Bu veriler, lityum pazarında ezici bir hakimiyet olduğunu göstergesidir

## 2024 Lityum üretiminin ülkelere göre dağılımı

No	Ülkeler	Dünya Üretimi (Ton)	Dünya Payı
1	Avustralya	88.000	%37
2	Şili	49.000	%20,59
3	Çin	41.000	%17,23
4	Zimbabve	22.000	%9,24
5	Arjantin	18.000	%7,56
6	Brezilya	10.000	%4,2
7	Kanada	4.300	%1,8
8	Portekiz	380	%0,15
9	Diğer Ülkeler	4.700	%2
10	Toplam (Yaklaşık)	238.000	%100,0

# Sodyum İyon Batarya Teknolojisi ve Hammaddesi

SİB'lerin çalışma prensibi, Li-ion bataryalar ile çok benzerdir ("sallanan sandalye" mekanizması)

## Ana Bileşenler:

- Anot: Genellikle sert karbon (hard carbon).
- Katot: Sodyum metal oksit ( $\text{Na}_x\text{MnO}_2$ ,  $\text{NaFeO}_2$  vb.).
- Elektrolit : Sodyum tuzu içeren sıvı.

Katot bileşeninde kullanılan sodyum metal oksitler, uygun maliyeti ve endüstriyel üretilebilirliği nedeniyle Sodyum Karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) kullanılarak elde edilir.

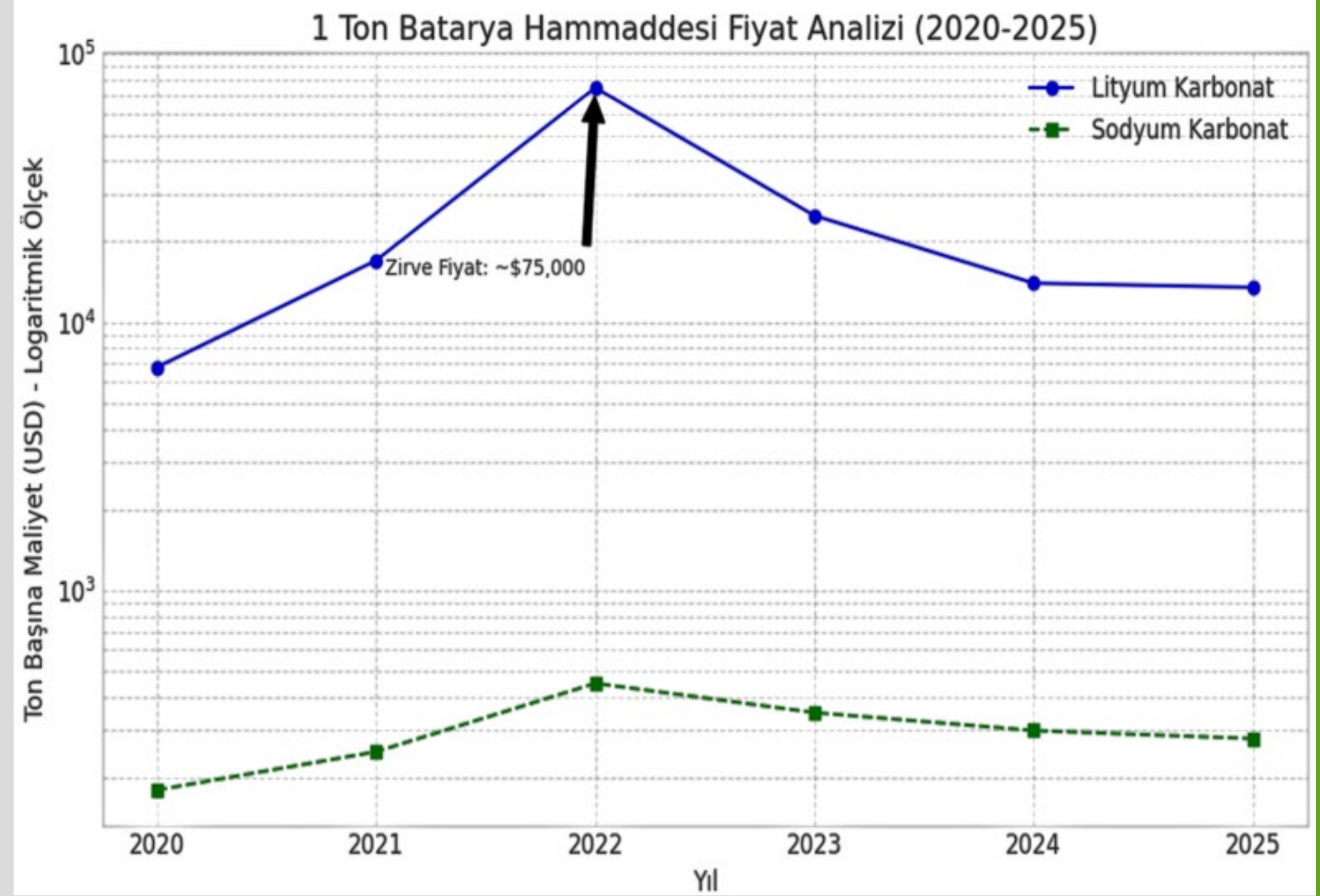


# Temel Maliyet Analizi ve Bildirinin Katkısı

- Lityum Karbonat (Mavi Çizgi): Fiyatı aşırı değişkendir. 2022de ton başına ~75.000\$ ile zirve fiyatı görmüştür.
- Sodyum Karbonat (Yeşil Çizgi): Fiyatı, lityum karbonata göre çok daha düşük ve istikrarlıdır .

1. Maliyet Analizi

2. Bütüncül Maliyet Avantajı



# Sodyum Tedarik Zinciri - Sodyum Klorür

Sodyumun ticari ana kaynağı Sodyum Klorür'dür (Sofra Tuzu).

2024 yılı için ülkelere göre sodyum klorür üretimi

- Dünya sodyum klorür üretimi, lityum üretiminden yaklaşık 1000 kat daha fazladır.
- Lityumun aksine coğrafi olarak tek bir bölgede değil, çeşitli ülkelerde üretilmektedir. Bu, daha az riskli ve olgunlaşmış bir tedarik zincirine işaret eder
- Türkiye, yıllık 9 milyon ton üretim ve %3.27'lik pay ile dünyanın önemli sodyum klorür üreticilerinden biridir. Bu durum, yerli hammadde potansiyelinin yüksekliğini gösterir.

Sıra	Ülkeler	Dünya Üretimi (Ton)	Dünya Payı
1	Çin	55.000.000	%20
2	ABD	40.000.000	%14,5
3	Hindistan	28.000.000	%10,2
4	Almanya	16.000.000	%5,8
5	Avustralya	13.000.000	%4,7
6	Kanada	12.000.000	%4,36
7	Şile	11.000.000	%4
8	Türkiye	9.000.000	%3,27
9	Diğer Ülkeler	91.400.000	%33,2
10	Toplam (Yaklaşık)	275.000.000	%100,0

# Türkiye'nin Stratejik Avantajı: Sodyum Karbonat Üretimi

Lityum rezervleri açısından fakir olan Türkiye, sodyum hammaddesi konusunda büyük bir zenginliğe sahiptir.

Sodyum iyon bataryaların temel hammaddesi olan Sodyum Karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) iki yöntemle elde edilebilir :

- 1. Sentetik Yöntem (Solvay Prosesi):
  - Ana hammadde olarak sodyum klorür (tuz) kullanılır.
  - Türkiye'nin milyonlarca tonluk yüksek tuz üretimi, bu yöntemin yerli olarak geliştirilebilmesi için büyük bir potansiyele sunmaktadır.
- 2. Doğal Kaynaklar (Trona Cevheri):
  - Sodyum karbonat elde için Trona cevheri kullanılabilir.
  - Bu yöntem, Türkiye için en büyük stratejik fırsatı sunmaktadır.

# Türkiye'nin "Trona" Zenginliği ve Bildirinin Özgün Analizi

Türkiye, ABD'den (%92) sonra Dünyanın en büyük ikinci Trona rezervine sahiptir (%4).

Ankara'nın Beypazarı, Kazan ve Sincan ilçelerinde tespit edilen 900 milyon ton işlenebilir Trona rezervi bulunmaktadır.

Bu çalışmada Trona cevherinden Sodyum Karbonat eldesi için bir verim hesabı yapılmıştır:



$$(106) + (84) + 2 \cdot (18) = 226 \text{ g/mol}$$

$$2 \cdot 23 + 12 + 3 \cdot 16 = 106 \text{ g/mol}$$

$$2 \text{ mol} \cdot 226 \text{ g/mol} = 452 \text{ gram}$$

$$3 \text{ mol} \cdot 106 \text{ g/mol} = 318 \text{ gram}$$

$$318 / 452 = \%70,35$$

$$900.000.000 \text{ ton} \cdot 0,7035 = 633.150.000 \text{ ton}$$

# Sonuçlar ve Literatüre Katkı

1. Tespit Li-ion ithalatı, yıllık 1 milyar doları aşan maliyetiyle Türkiye için ciddi ve büyüyen bir ekonomik yüküdür.
2. Maliyet Analizi: Bu bildiri, SİB'nin temel hammaddesinin (Na-Karbonat), Li-Karbonat'tan 40-50 kat daha ucuz ve istikrarlı olduğunu ve Alüminyum akım toplayıcı kullanımıyla toplam maliyetin çok daha ekonomik olduğunu ortaya koymuştur.
3. Stratejik Katkı: Bu bildiri, SİB teknolojisini Türkiye'nin yerli ve zengin hammadde (Trona ve Tuz) kaynakları ile stratejik olarak eşleştiren bir analiz sunmuştur.
4. Potansiyel Durum: Dünyanın en büyük ikinci Trona rezervinin, teorik hesaplamalarla devasa bir yerli sodyum karbonat kaynağı olduğu gösterilmiştir.
5. Nihai Sonuç Sodyum İyon Bataryalar, Türkiye için "bir alternatif" değil, "enerji bağımsızlığı için stratejik bir fırsattır".

# Sonuçlar ve Literatüre Katkı

Sodyumiyon bataryalar, Türkiye'nin enerji depolama sistemleri ve elektrikli araçlar gibi stratejik sektörlerde;

- Dışa bağımlılığını azaltması,
- Yerli kaynaklar kullanarak katma değeryaratması,
- Daha ekonomik ve rekabetçi teknolojik çözümler geliştirmesi için kritik bir fırsat sunmaktadır.

Bu alana yapılacak yatırımlar, ülkenin enerji ve teknoloji geleceği için hayati önem taşımaktadır.

# TEŞEKKÜRLER