

# CIGRE TÜRKİYE SEKTÖR BULUŞMALARI-2

## "BATARYA TEKNOLOJİLERİ" KAYSERİ



Yer: Kayseri Ticaret Odası • Tarih: 21 Haziran 2022, Salı

# Batarya ve Döngüsel Ekonomi

**Prof Dr Şaban Patat**

Erciyes Üniversitesi

Fen Fakültesi Kimya Bölümü

Kayseri

# LIB Batarya ve Döngüsel Ekonomi

**2019 yılında;**

yıllık EV satışı 2.2 milyon araç/yıl

**2020 yılında;**

i)elektrikli araç LIB bataryası satışı 30 milyar \$/yıl

ii)Kullanılmış elektrikli araç LIB miktarı 500.000 ton/yıl

**2035 yılında;**

Kullanılmış elektrikli araç bataryası 1.700.000 ton/yıl

Elektrikli araç lityum iyon batarya (LIB) ömrü: 8-10 yıl

Kullanılmış EV LIB kapasitesi: başlangıç kapasitesinin %70-80

# LIB Batarya ve Döngüsel Ekonomi

- **Kullanılan LIB bataryalar:** Co, Li ve Ni gibi değerli metaller içermektedir.
- **ABD devletinin jeolojik araştırmasına göre yer yüzündeki Co ve Li rezervi;** sırasıyla 7 milyon ton ve 62 milyon tondur.
- **Son yıllarda Co, Ni ve Li fiyatları artmaktadır.**
- **Co ve Ni gibi ağır metaller:** insan ve çevre sağlığına zararlı etkileri bulunmaktadır
- **Elektrolit tuzu olarak kullanılan  $\text{LiPF}_6$  ve  $\text{LiBF}_4$  :** göz ve deriye karşı toksik ve tahriş edici etki yapmaktadır.
- **Kullanılmış LIB'ler için geleneksel yaklaşım:** çöpe atma, yeniden kullanma ve geri dönüşümdür.
- **Sürdürülebilirlik için kullanılmış LIB'lerin yeniden kullanımı ve geri dönüşümü gerekmektedir.**

# EV Batarya Paketinin Yapısı ve Kompozisyonu

- **EV LIB paketleri:** farklı fiziksel konfigürasyon, modül yapıları, farklı hücre şekilleri ve kimyasal bileşimde üretilirler.
- **EV paketleri:** çok sayıda hücrelerin bulunduğu modüllerden oluşur.
- **EV LIB hücreleri:** silindirik, prizmatik ve kese tipi geometriye sahip olabilirler.
  - **Silindirik hücreler**
- **Avantaj** : düşük maliyet, üretim kolaylığı ve iyi mekanik dayanım
- **Dezavantaj:** i)geometriden kaynaklanan boşluklar nedeniyle paket yoğunluğu sınırlıdır ve ii)entegrasyon ve montaj maliyeti yüksektir.
- **Otomobil orijinal parça üreticileri:** sistem düzeyinde etkin paketleme için prizmatik ve kese tipi pil üretme eğilimindedir.

# EV Batarya Paketinin Yapısı ve Kompozisyonu

## • Prizmatik hücreler

- **Avantaj** : ağırlık ve hacim verimi yüksek, esnek dizayn ve düşük sistem maliyeti
- **Dezavantaj**: yüksek üretim maliyeti ve sıcaklık eğilimi nedeniyle oluşan kapasite kayıp hızının yüksek olması

## • Kese Tipi hücreler

- **Avantaj** : güvenli, düşük kütle, yüksek paketleme verimi ve ısı yayma performansının iyi olması
- **Dezavantaj**: zayıf mekanik dayanıma sahip ve şişmeyi önlemek için desteğe ihtiyaç duyması.

## • LIB'lar

- Anot, katot, elektrolit, ayırıcı (separatör), akım toplayıcı ve kaptan oluşur.
- **Anot**: genelde grafit ve lityum titanat ( $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ , LTO)
- **Katot**:  $\text{LiFePO}_4$  (LFP),  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  (LMO),  $\text{LiCoO}_2$  (LCO),  $\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{Co}_z\text{O}_2$  (NMC)  
 $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.15}\text{Al}_{0.05}\text{O}_2$  (NCA)

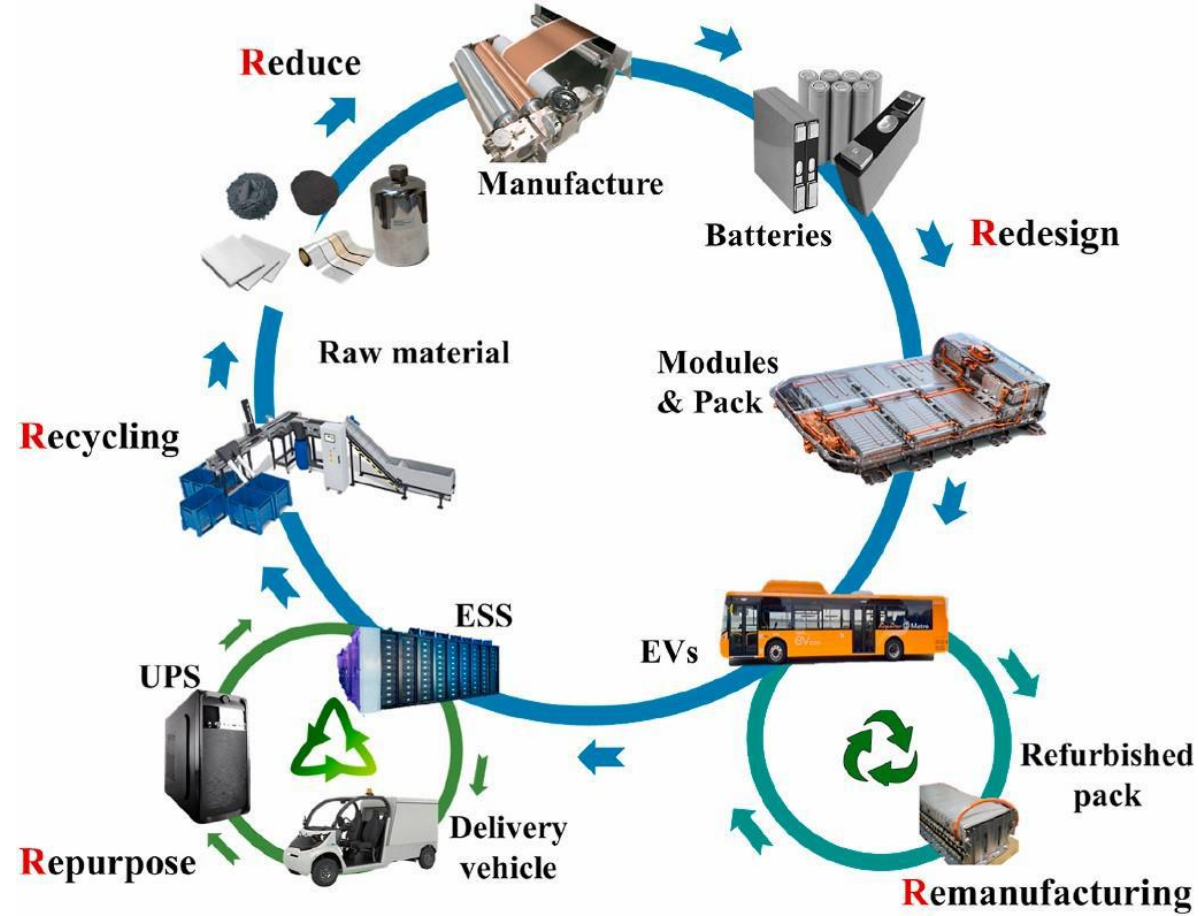
# EV Batarya Paketinin Yapısı ve Kompozisyonu

- **Elektrolit:** etilen karbonat (EC) ve dietilen karbonat (DEC) gibi organik çözücülerde çözünmüş  $\text{LiPF}_6$  ve  $\text{LiBF}_4$  tuzları ve katkı maddelerinden oluşur.
- **Ayıraç:** gözenekli polietilen (PE) ve polipropilen (PP) membran
- **Akım taşıyıcı:** Al ve Cu folyö
- **Kap:** Al metali
- **LIB üretimi:** karıştırma, kaplama, haddeme, biçme, sarma, kaynak yapma ve testler.
- Üretilen LIB hücreleri modül ve paket oluşturmak üzere paralel ve seri olarak bağlanır.

# Kullanılmış LIB'lar için Döngüsel Ekonomi

- Elektrikli araçlar bataryanın ömrü süresince 120.000-240.000 km gidebilir ve bu süre boyunca batarya performansı azalır.
- Yakın gelecekte büyük miktarda kullanılmış EV LIB'ler birikecektir.
- **Kullanılmış LIB'ların döngüsel ekonomisi için en ideal çözüm:** yeniden üretim (remanufacturing), ikincil amaçlı kullanım (repurpose) ve kıymetli malzemelerin geri dönüşümüdür (recycling).
- **Kullanılmış EV LIB'lerin döngüsel ekonomisi:** kullanılmış bataryaların durumunun değerlendirilmesi ve uygun uygulamanın bulunması ile başlar. En yüksek performans puanı alan kullanılmış EV LIB'ler yeniden üretilerek EV LIB olarak kullanılır. Orta düzeyde puan alan EV LIB'ler puana göre elektrik şebekesi enerji depolama sistemleri, elektrikli dağıtım aracı ve kesintisiz güç kaynaklarında kullanılabilir.

# Kullanılmış LIB'lar için Döngüsel Ekonomi



Şekil: Kullanılmış EV LIB'ler için döngüsel ekonomi



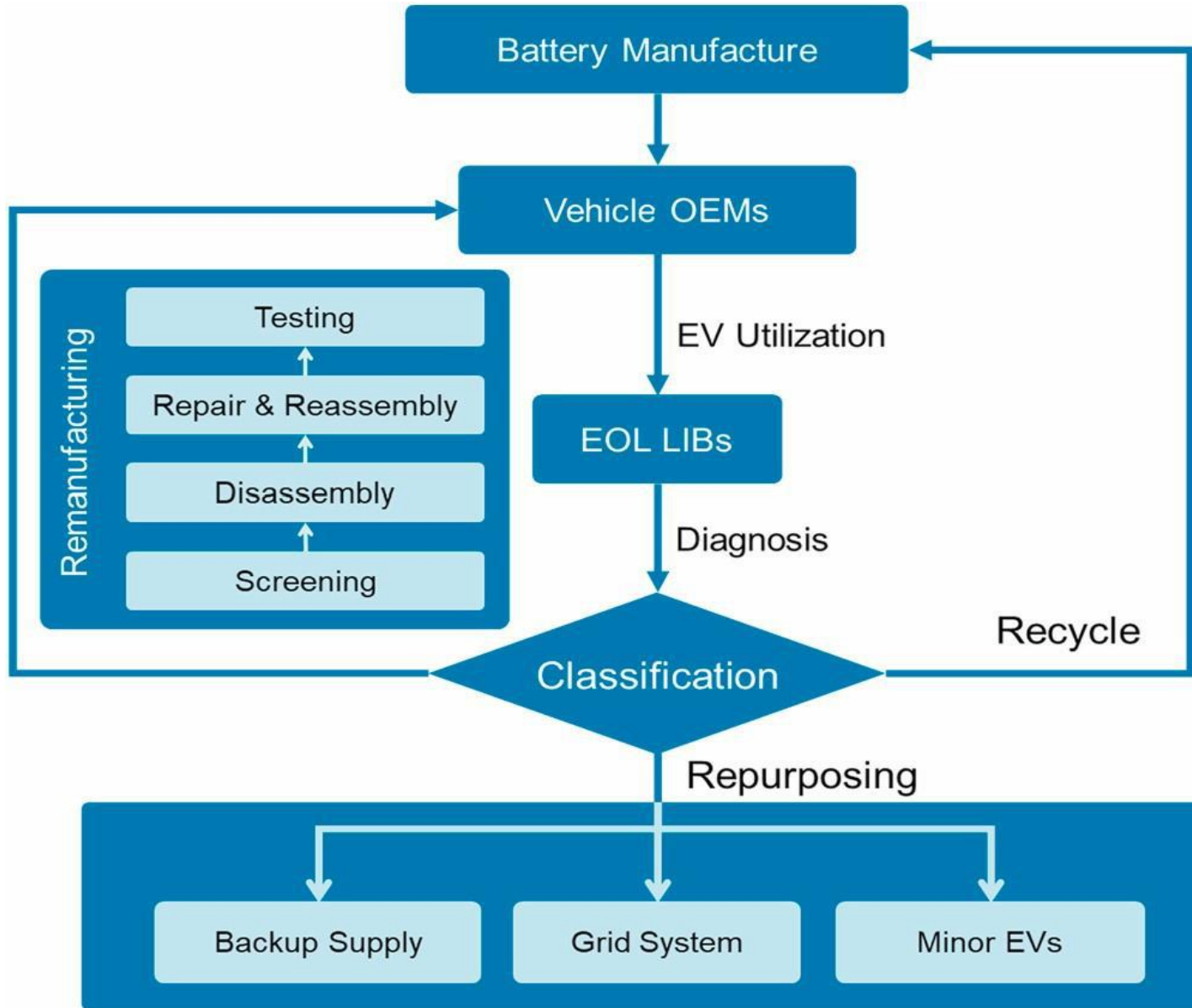
# Kullanılmış LIB'ler için Döngüsel Ekonomi

- Kullanılmış EV LIB'ler yeniden kullanım için uygun değilse geri dönüşüm uygulanır.
- Yeniden üretilip kullanılan EV LIB'ler ikincil amaçlı kullanılabilir. İkincil amaçlı kullanılan EV LIB'ler geri dönüşüme gönderilir.
- Böylece EV LIB'ler için kapalı döngüsel ekonomi uygulanır.
- Üretim sırasında mevcut batarya paketinin yeniden dizayn edilmesi, bataryanın kullanım süresini artırabilir ve teknolojik ilerlemeler hammadde ve benzeri ihtiyacı azaltabilir.
- **Yeniden üretip kullanma, ikincil amaçlı yeniden kullanım, yeniden dizayn, küçültme ve geri dönüşüm;** ekonomik, çevresel ve kaynak bakımından en yüksek fayda sağlamada kullanılan 5R stratejisi olarak adlandırılmaktadır.
- Bir diğer yaklaşım kullanılmış EV LIB'lerin çöpe atılmasıdır. Ancak bu yöntem döngüsel ekonomide uygulanmaz.

# Yeniden Üretim (Remanufacturing)

- Başlangıç kapasitesinin %20-30 oranında kaybeden EV LIB'ler, hızlanma ve menzil gibi enerji ve güç gereksinimi gerektiren ihtiyaçları karşılayamaz durumda olmasına rağmen kalan kapasitenin yüksek olması nedeniyle öncelikli olarak yeniden üretim yolu ile araçlarda değilse araç dışı uygulamalarda kullanılabilir.
- Kullanılmış EV LIB'ler toplanıp işlenecek olan fabrikaya götürülerek sonraki işlem basamağını belirlemek için değerlendirilir. Bataryalar maliyet yanında sağlık durumu (SOH), kalan faydalı ömür (RUL) ve güvenlik yönünden değerlendirilir. **Değerlendirmede en yüksek puanı alan bataryalar EV uygulamaları için yeniden üretilir.** Hücreden hücreye olan farklılıklar nedeniyle aynı paket içindeki hücreler farklı oranlarda bozulabilir. Paketin tarama yolu ile belirlenen bozuk hücreleri başka paketin iyi durumdaki hücreler ile değiştirilir. Yeniden üretim süreci, detaylı batarya testi, tarama, paketin kısmen demonte edilmesi, bozuk hücrelerin sağlam hücreler ile değiştirilmesi ve paketin yeniden monte edilmesi basamaklarından oluşmaktadır. Yeniden üretilen batarya paketi otomobil orijinal parça üreticilerine gönderilir.
- **Yeniden üretim, yeni pakete göre %40 daha ucuzdur.**

# Yeniden Üretim (Remanufacturing)



**Şekil:** Yeniden üretim ve ikincil kullanım için akış diyagramı

# Yeniden Üretim (Remanufacturing): Batarya Değerlendirme Testi

- **Batarya değerlendirme testi:** güvenlik, sağlık durumu (SOH) ve kalan ömrün belirlenmesi (RUL) testlerinden oluşur.
- **Güvenlik testleri:** LIB'lar mekanik, elektriksel, çevre ve kimyasal yönden test edilir.

Test	UL		IEC		SAE	IEEE	
	1642	2054	62,133	62,281	J2464	1625	1725
External short circuit	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Abnormal charge	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Forced discharge	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Crush	✓	✓	✓		✓	✓	✓
Impact	✓	✓		✓		✓	✓
Shock	✓	✓	✓	✓		✓	✓
Vibration	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Heating	✓	✓	✓		✓	✓	✓
Temperature cycling	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Low pressure (altitude)	✓		✓	✓	✓	✓	✓
Projectile Drop	✓	✓		✓		✓	✓
Continuous low rate charging				✓			
Penetration					✓		
Separator shutdown integrity					✓		
Internal short circuit test	✓						

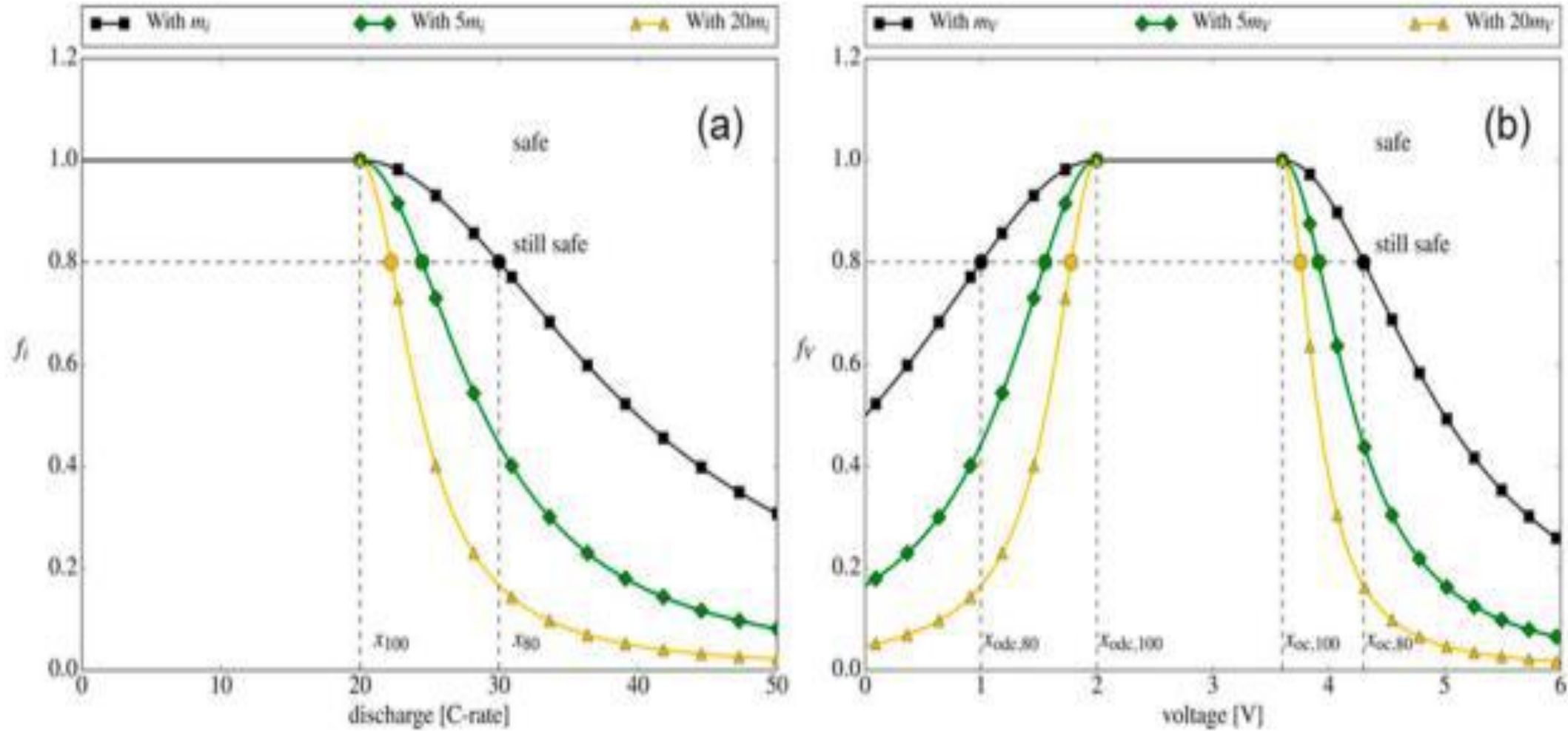
**Kısa devre, aşırı şarj, ezme, çivi deneyi ve ısıtma gibi güvenlik testleri bataryanın geri dönüşümsüz bozulmasına yol açmaktadır.**

**Tahribatsız testler geliştirilmelidir.**

**Güvenlik testi için güvenlik durumu (SOS) gibi teknikler kullanılmaktadır.**

**Şekil:** Uluslararası organizasyonlar tarafından önerilen EV LIB güvenlik test standartları

# Yeniden Üretim (Remanufacturing): Güvenlik testleri

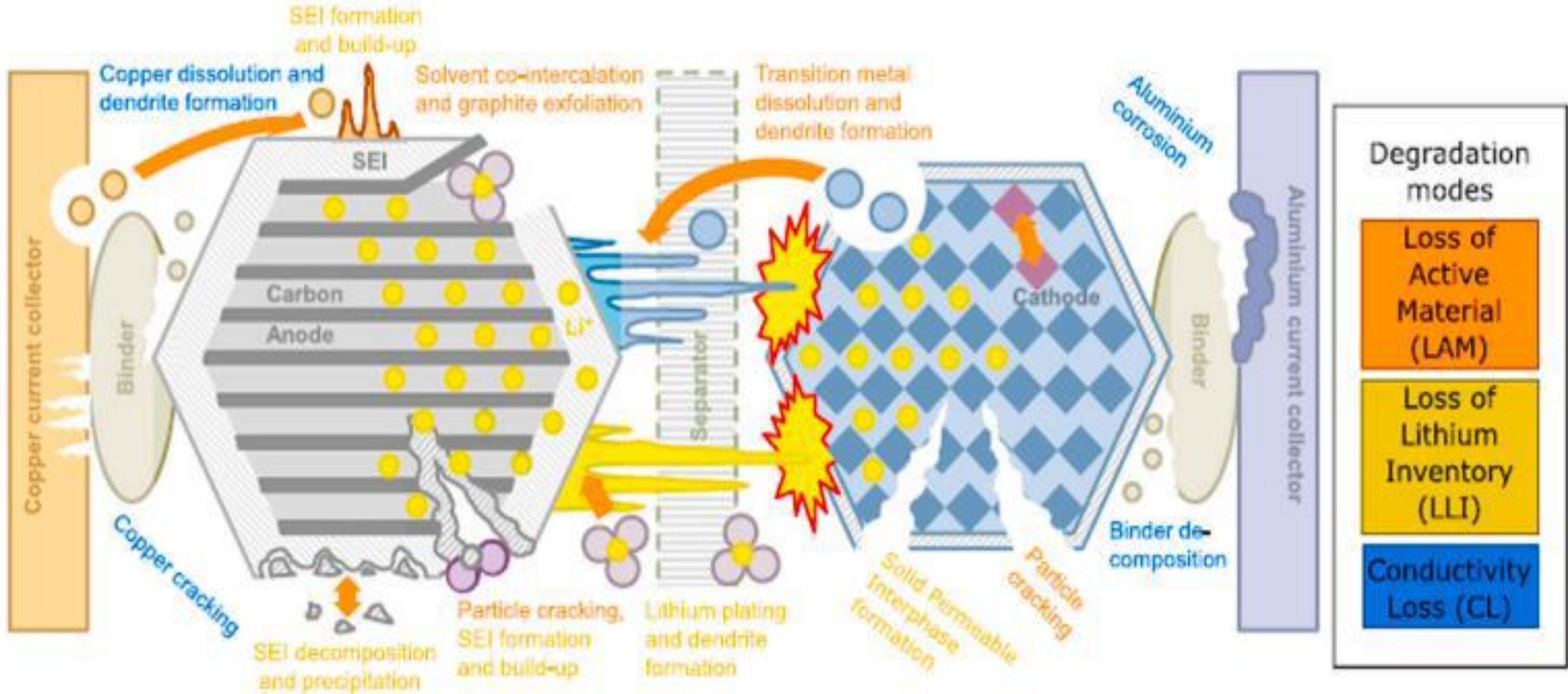


**Şekil:** farklı şartlar ile SOS ilişkisi. **a)** farklı akım şartlarında ve **b)** yüksek ve düşük voltaj dahil değişik voltaj şartlarında



# Yeniden Üretim (Remanufacturing): Sağlık Durumu Testleri (SOH)

- Sağlık durumu testleri kapasite azalma miktarı ve yan tepkimelerin oluşturduğu iç direnç artışını belirler.



## Yeniden Üretim (Remanufacturing): Sağlık Durumu Testleri (SOH)

- **SOH metotları:** doğrudan değerlendirme, kademeli kapasite analiz esaslı metotlar (ICA), ampirik metotlar ve eşdeğer devre modelleri (ECMs), elektrokimyasal modeller (EMS), veriye dayalı metotlar ve hibrid metotlarıdır.
- SOH'ı doğru olarak belirlemek için farklı yaklaşımları içeren hibrid metodun kullanılması ümit verici olabilir.

# Yeniden Üretim (Remanufacturing): Döngü Ömrü Testleri

- Döngü ömrü testleri kalan döngü ömrünü belirlemek için uygulanan testlerdir.
- Batarya kullanım sırasında ve rafta bozulabilir. Raf ömrü sıcaklık ve şarj şartlarına göre değişirken döngü ömrü sıcaklık, döngü sayısı, akım miktarı, voltaj aralığı ve deşarj derinliğine bağlıdır.
- **RUL durumu:** ampirik metotlar, model esaslı metotlar, yapay zeka (AI) metotları ve hibrid metotları ile belirlenmektedir.



# Yeniden Üretim (Remanufacturing): Tarama, demontaj, motajlama ve test

**Tarama işlemi**, batarya paketinde bozuk hücrelerin bulunması ve yenisi ile değiştirilmesi basamaklarını kapsar. **Bozuk hücreler aynı üreticinin hücreleri ile değiştirilebilir.** Tarama işlemi hücre parametre veya özelliklerindeki farklılıklar ya da veri güdümlü metotlara göre gerçekleştirilir. Liao ve ark. kullanılmış bataryalarda sınıflandırma için kapasite ölçümünün tek başına yeterli olmadığını öne sürerek kapasite ve impedans ölçümüne dayalı tarama metodu önerdi. Deneysel veriler, Warburg impedansı, şarj transfer direnci ve kapasite arasında ilişki olduğunu buldu.

**Demontaj işlemi**, batarya çerçevesinin açılması, bileşenler arasında elektrik ve mekanik bağlantıların uzaklaştırılması ve yardımcı elektrik parçaların uzaklaştırılmasından oluşmaktadır. Batarya paket ve modüllerinin yapısı ve konfigürasyon için her hangi bir standart olmadığı için demontaj işlemi manuel olarak yapılmalıdır. Paketin yüksek voltajı nedeniyle demontaj işlemi genelde tehlikelidir; eğitimli teknisyen ve özel ekipman gerektirmektedir. Demontaj işleminin robot yardımı ile yapılması riski azaltabilir. Sanal demontaj işlemi ile sistem yapısı, bileşenler, bağlantılar, ağırlık ve malzeme türü bilgisine dayalı olarak simüle edilmiş demontaj gerçekleştirilebilir. Demontaj basamaklarını optimize etmek için farklı demontaj ihtimallerinin çerçevesini belirlemek uygun olur.

**Yeniden montaj işlemi**, demontaj işlemine benzemektedir.

Yeniden üretilen batarya paketleri aynı uygulamada kullanılacağı için orijinal **test metotları** geçerlidir. Orijinal batarya yönetim sistemi, termal yönetim sistemi ve dengeleme yönetim sistemi (EMS) herhangi bir modifikasyon gerektirmeden kullanılabilir.

# İkincil Amaçlı Yeniden Kullanım

- **İkincil amaçlı yeniden kullanım**, değerlendirme, tarama ve demontaj bakımından **yeniden üretime** benzemektedir. Ancak paket yapısı değişebilir, BMS sistemi için yeni yazılım ve donanım gerekebilir ve yeni TMS ve EMS kullanılabilir. Paket modüllere ayrılarak tarama sonuçlarına göre yeniden gruplandırılabilir.

- **Grup Algoritması**

Uyumsuz olan bataryaların yeniden gruplandırılması durumunda aşırı şarj, aşırı deşarj, hızlanmış yaşlanma ve hatta termal kaçış artabilir. Bu yüzden kapasite, iç direnç ve açık devre voltajı bakımından benzer olan bataryaların yeniden gruplandırılması gerekmektedir.

LIB'ların yeniden gruplandırılması için parametre esaslı metotlar ve dinamik özelliğe dayalı metotlar dahil birçok algoritma öngörülebilir.

## İkincil Amaçlı Yeniden Kullanım: **Batarya yönetim fonksiyonları**

- Bataryaların şarj durumu (SOC), güç durumu (SOP) ve sağlık durumu (SOH) gibi durumlar; EV paketinin verimi, güvenilirliği ve güvenliğin için anahtar yönetim konularıdır.

### **SOC tahmin metotları**

- SOC tahmini için doğrudan hesaplama, model esaslı ve veri güdümlü olmak üzere üç metot kullanılmaktadır. Doğrudan hesaplama metodunda açık devre voltajı ile başlangıç SOC'nin elde edilmekte ve Coulomb sayma metodu ile SOC değişimi hesaplanmaktadır. Bu metodun toplamsal hatası büyüktür ve adaptasyon eksikliği bulunmaktadır.
- Eşdeğer devre modeline (ECM) dayalı metotlar, yapısının basit ve ölçeklendirilebilir olması nedeniyle yaygın şekilde kullanılmaktadır.

## İkincil Amaçlı Yeniden Kullanım: **Batarya yönetim fonksiyonları**

### • **SOP tahmin metotları**

SOP'un doğru olarak tahmin edilmesi, aşırı şarj ve deşarjı önler. SOP tahmin metotları karakteristek harita (CM) metotları ve model esaslı metotlar olmak üzere iki gruba ayrılır. CM esaslı metotlar SOP ile offline testlerle elde edilen SOC, sıcaklık, SOH ve süre arasındaki ilişkilere dayanır. İleri kontrol algoritması yardımı ile ECM metotları dinamik şartlar altında online SOP tahmininde popülerdir. Ancak model esaslı metotların geliştirilmesi genelde tatmin edici değildir.

### **SOH tahmini metotları**

SOH'ın doğru olarak tahmin edilmesi; batarya sisteminin verimini, güvenilirliğini ve güvenliğini garantilemede anahtar konumundadır. BMS'e entegre edildiğinde, SOH tahmin metotları bilgisayar hesaplama maliyeti ve parametre belirlemedeki zorlukların üstesinden gelmelidir.

### **Ortak durum tahmini**

SOC, SOP ve SOH durumları birbiriyle ilişkilidir ve bataryanın EV ve yeniden kullanıldığı uygulamalarda birbirleriyle etkileşmektedir. Bu yüzden BMS'de entegre olmuş çoklu ortak tahmin metotları, yüksek doğruluk elde etme potansiyeline sahiptir.

## İkincil Amaçlı Yeniden Kullanım: Termal yönetim fonksiyonları

LIB'lar sıcaklığa karşı hassastır; oda sıcaklığında en iyi performans gösterirler. TMS, sıcaklık ve sıcaklık değişimini uygun bir aralıkta tutarak batarya sisteminin sağlığı ve güvenliğini sağlar. Batarya soğutma sistemi olarak hava, sıvı, faz değiştiren maddeler ve ısı nakil borusu kullanılmaktadır. Ortamın batarya ile doğrudan temasta olup olmamasına göre TMS doğrudan soğutma ve dolaylı soğutma sistemleri şeklinde ikiye ayrılır. Güç kullanılıp kullanılmamasına göre de aktif ve pasif olmak üzere ikiye ayrılır.

İkincil amaçlı kullanılan bataryalar yeni bataryalar ile kıyaslandığında güvenlik ve güvenilirlik bakımından daha kötü durumda olduğu için TMS uygulanması ve dizaynında daha dikkatli olunmalıdır. TMS'ler; sıcaklık performansı, maliyet, yer, verim ve güvenilirlik gibi faktörler detaylıca düşünülerek seçilmelidir.

## • İkincil Amaçlı Yeniden Kullanım: dengeleme fonksiyonları

EV uygulamalarında yüzlerce şarj/deşarj'dan sonra aynı paketteki batarya hücreleri farklı kapasite ve iç direnç değerlerine sahip olabilir. Bu tür dengesizlik yeniden kullanım süresince sistemin güvenlik problemine ve bozulmasına neden olabilir. EMS hücrelerin dengelenmesini sağlar, uygun çalışma şartlarını korur ve bakım maliyetlerini düşürür. Fazla enerjinin dağıtılıp dağıılmamasına göre aktif ve pasif mod olmak üzere ikiye ayrılır.

## Uygulamalar

Yeniden düzenlenen kullanılmış EV LIB'lar; ESS, UPS, elektrikli scooterlar ve elektrikli forkliftlerde kullanılabilir. Enerji kapasitesindeki farka göre endüstriyel, ticari ve evsel uygulamalar şeklinde sınıflandırılabilir. Mobiliteye göre de sabit uygulamalar (şebekeye bağlı ESS, yeşil binalar vb.), yarı sabit uygulamalar (ESS) ve mobil (e-scooter ve forklif gibi) uygulamalar olmak üzere üçe ayrılır.

# Geridönüşüm

**Geri dönüşüm**, değerli metallerin geri kazanılmasını sağlayarak hammadde ihtiyacını azaltmaktadır.

**Geridönüşüm**, ön işlem ve madde ekstraksiyonu olmak üzere iki basamaktan oluşur.

**Ön işlem:** hücreleri paketten uzaklaştırıp küçük parçalara ayırma işlemi olup deşarj, demontaj, ezme, tarama ve ayırma basamaklarından oluşmaktadır.

**Ekstraksiyon:** pirometalurji, hidrometalurji, biyo-hidrometalurji ve doğrudan geridönüşüm metotları şeklinde uygulanır.

İlave olarak elektrolit ve anottaki kıymetli bileşenler geri kazanılabilir.

## Ön işlem

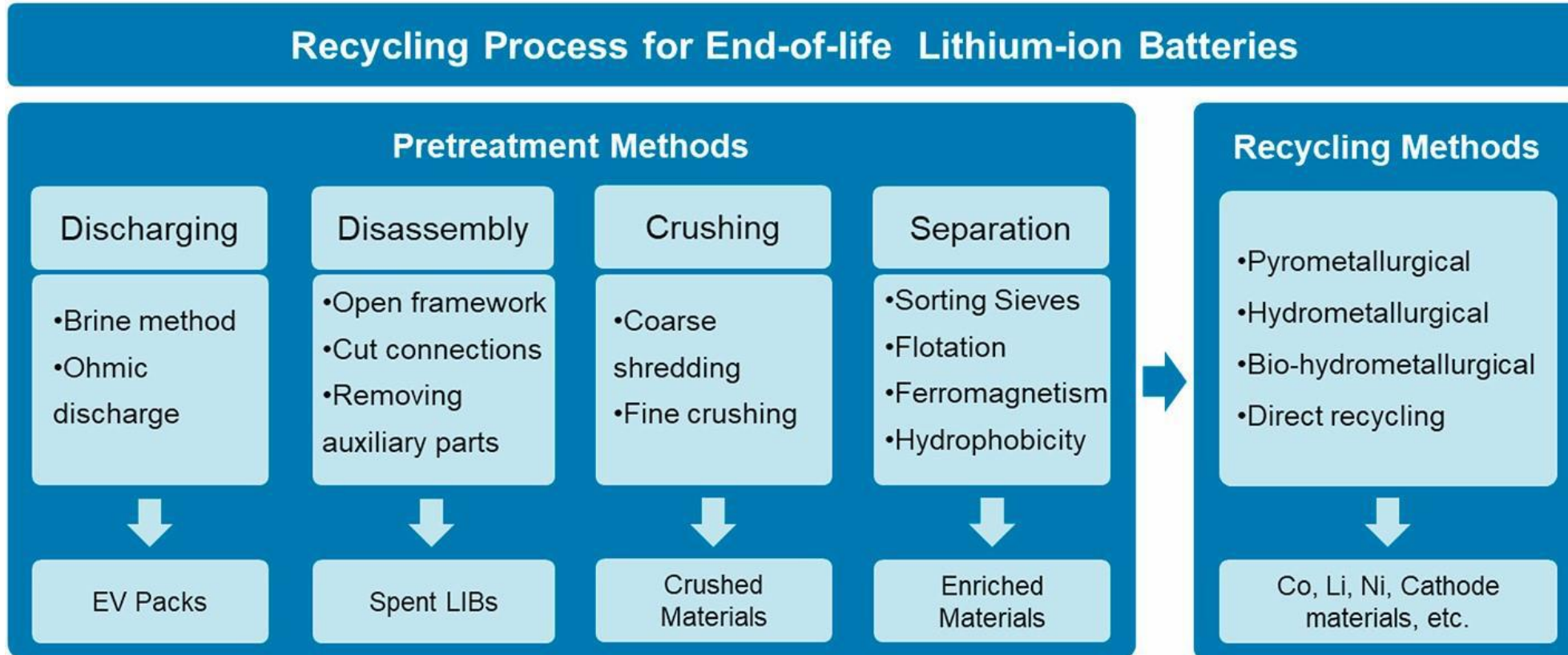
Ön işlem basamağı, şekil, yoğunluk ve manyetik özellik gibi fiziksel özelliklerdeki farklılıklara dayalı olarak kullanılmış bataryalardan değerli maddeleri ve bileşenleri zenginleştirme ve ayırma işlemidir. Ön işlem geri kazanma oranını artırma, enerji tüketimini azaltma, güvenlik risklerinden kaçınma ve çevreye verilen zararları azaltmaya yardımcı olabilmektedir.



# Geridönüşüm

**Ön işlem** genelde stabilizasyon, ısıtma işlemi, vakumda piroliz, öğütme ve eleme gibi fiziksel ve kimyasal işlemlerden oluşur.

Ön işlem şekilde görüldüğü gibi deşarj, demontaj, ezme ve ayırma işlemlerinden oluşur.



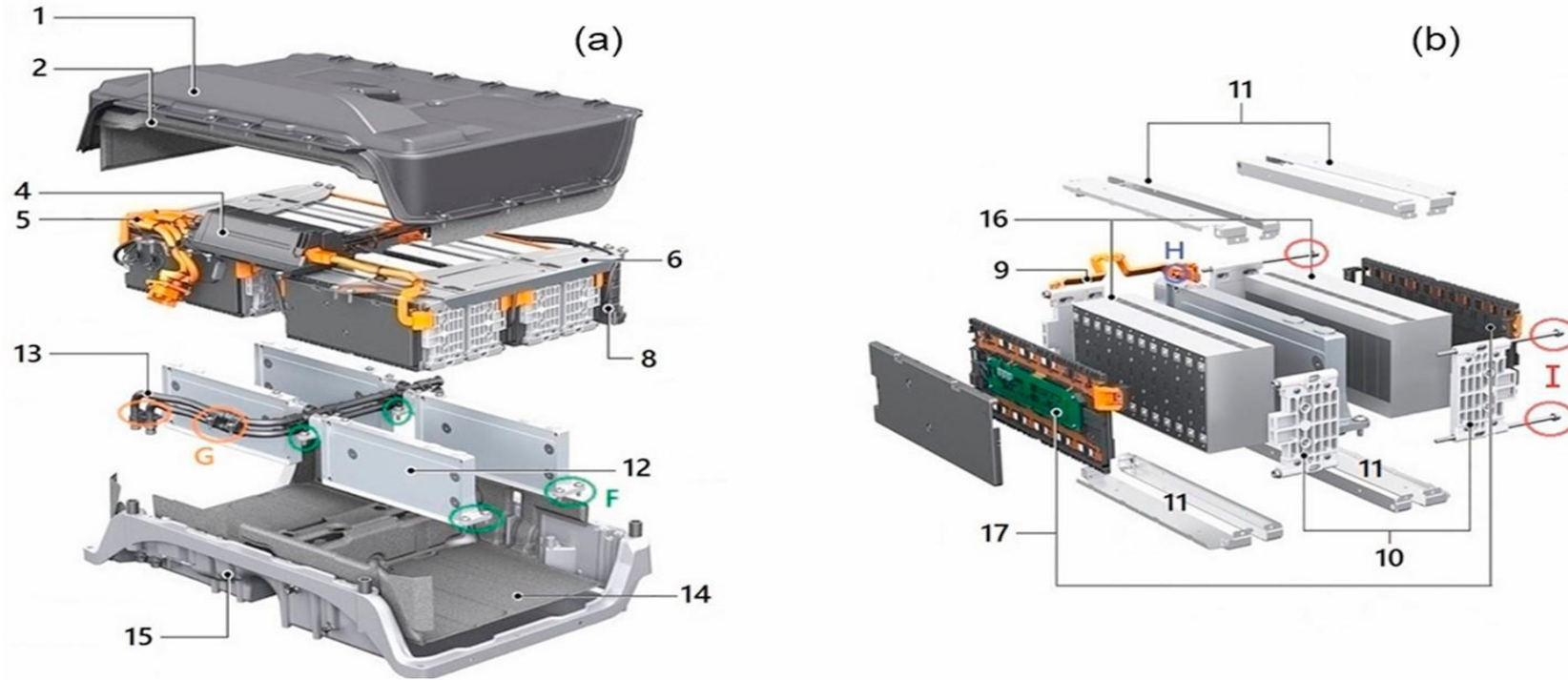


## Geridönüşüm: Deşarj

- Kullanılmış LIB'lar kısa devre ve patlamaya neden olabilecek atık enerjiye sahiptir. Bu yüzden bataryanın öncelikli olarak deşarj edilmesi gerekir. Bunun için en çok tuz çözeltisi ve omik metotlar uygulanmaktadır. Tuz metodunda kullanılmış LIB'lar deşarj olması için NaCl ve Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> gibi tuz çözeltisine daldırılarak yeterli süre bekletilir. Daldırma metodu yüksek hızda elektrolize ve gaz çıkışına neden olduğu için yüksek voltajlı bataryalar için uygun değildir.
- Omik deşarj metodu bir dış devre ile bataryanın deşarj edilmesidir. Tuz metodu ile karşılaştırıldığında zaman daha kısa ancak büyük miktarda ısı açığa çıktığı için termal kaçışa neden olabilir.

# Geridönüşüm: Demonte etme

- Demonte işleminde batarya sistemi modüle veya hücreye parçalanır; batarya çerçevesinin açılması, bileşenler arasındaki elektrik bağlantılarının kesilmesi, komponentler ve taban arasındaki mekanik bağlantıların uzaklaştırılması ve yardımcı elektronik parçaların uzaklaştırılması basamaklarından oluşmaktadır. Batarya demontaj işlemi manuel olarak yapılmalıdır.



# Geridönüşüm: Parçalama ve Ayırma

**Ezme:** demonte işleminden sonra LIB'lar öğütülerek küçük parçalara ayrılır. Küçük parçalara ayırma işlemi, termal kaçış ve hava kirliliğini azaltmak için ineert atmosferde yapılır. Parçalara ayırma işlemi elektroliti nötralize etmek ve gaz emisyonununun engellemek için lityum tuzlu suda yapılabilir.

**Ayırma:** parçalama işleminden sonra büyüklük, yoğunluk, ferromanyetiklik ve hidrofobisite gibi fiziksel özelliklerdeki farklılığa dayalı olarak ayırma işlemi uygulanır. Önce titreşimli eleme ile plastik ve bakır gibi büyük parçalar ayrılır, arkasından manyetik ayırma ile çelik kap uzaklaştırılır ve son olarak ikinci defa titreşimli eleme ile küçük alüminyum parçalar ayrılır.

# Ekstraksiyon: Metallurjik Yöntemler

- Co, Li, Ni, Cu Al P gibi maddeler kullanılmış LIB'lerden elde edilebilir. LIB'lerde katot maddelerinin değerinin %40 olması nedeniyle mevcut geridönüşüm Li, Co ve Ni gibi değerli maddelere odaklanmıştır. Ön işlemde sonra değerli olan kısımlar ekstraksiyon işlemine tabi tutulur. Geridönüşümün temel ürünleri; saf metaller, alaşımlar, bileşikler, metal içeren çözeltiler ve curuftur.

## Ekstraksiyon metotları

- **Pirometalurji:** ısı işlem ile metal oksitler alaşıma dönüştürülür, endüstriyel uygulamada yaygın olarak kullanılır. Yüksek enerji sarfiyatı ve geri kazanma oranının düşük olması, uygulanmasını sınırlar.
- **Hidrometalurji:** sulu ortamdan değerli metalleri çözüp ekstrakte etmede etkili metottur. Enerji sarfiyatının düşük ve geri kazanma veriminin yüksek olması gibi avantajlara sahiptir. Ancak proses oldukça karmaşıktır.
- **Bio-hidrometalurji:** mikrobiyal canlılardan elde edilen asitler kullanılarak değerli maddeleri ayırmak için kullanılan çevre dostu bir metottur. Pirometalurji ve hidrometalurji metotlarının tamamlayıcısı olarak kullanılabilir.
- **Doğrudan geri dönüşüm:** orijinal bileşik yapısını bozmaksızın batarya maddelerinin geri kazanılması metodudur. Düşük maliyet ve düşük enerji sarfiyatı gibi avantajları vardır, ancak spesifik madde formülasyonları için üretim prosesinin ayarlanması gerekmektedir.

# Kaynaklar

- 1. Resources, Conservation & Recycling 180 (2022) 106144
- 2. Antonio Carlos Braz, Adriana Marotti de Mello, *International Journal of Production Economics* 243 (2022) 108317
- 3. Yang Hua, Sida Zhou, Yi Huang, Xinhua Liu, Heping Ling, Xinan Zhou, Cheng Zhang , Shichun Yang ., *Journal of Power Sources* 478 (2020) 228753
- *Jonas Neumann, Martina Petranikova, Marcel Meeus, Jorge D. Gamarra, Reza Younesi, Martin Winter, and Sascha Nowak, Adv. Energy Mater.* **2022**, 12, 2102917

# Teşekkürler