



smartPulse



# Derinlemesine Enerji Depolama Ticareti

Ozan Korkmaz, smartPulse  
Eylül 2024



# EDEDER Öneriler - YEKDEM, Tavan&Taban Fiyat, TEİAŞ

1. Depolamalı yenilenebilir santraller için geçerli olacak YEKDEM taban fiyatının 58.5 USD/MWh olarak netleştirilmesi
2. Depolamalı santrallerde bütünleşik batarya için uygulanacak yerli aksam teşviğinin resmileştirilmesi
3. Tavan fiyatın VOLL'a endekslenmesi ve 30.000 TL/MWh mertebesine yükseltilmesi, taban fiyatın ise tavan fiyatın negatif 10'da 1'i şeklinde -3.000 TL/MWh mertebesine düşürülmesi
4. Uzlaştırma periyodunun 15 dakikaya düşürülmesi
5. «Elektrik Depolama Tesislerinin Şebekeye Bağlanması ve Yan Hizmetlerde Kullanılmasına Dair Teknik Kriterler» dokümanının baştan ele alınarak güncellenmesi ve depolamalı yenilenebilir santrallerin yan hizmetlere katılımına izin verilmesi
6. Bir tesiste farklı tip bataryaların kurulumuna izin verilmesi, bir tesisin birden çok farklı tipte batarya ile ayrı ayrı UEVÇB'ler olarak yan hizmetler dahil piyasalara katılımına izin verilmesi (konvansiyonel bir santraldeki üniteler gibi), TEİAŞ kabul ve test süreçlerinin farklı fonksiyonlarda bataryaların varlığına uygun olarak düzenlenmesi
7. TEİAŞ sistem işletim ve sistem kullanım bedellerinin hem tüketim hem üretim şeklinde çift yönlü değil, tek yönlü olarak uygulanması

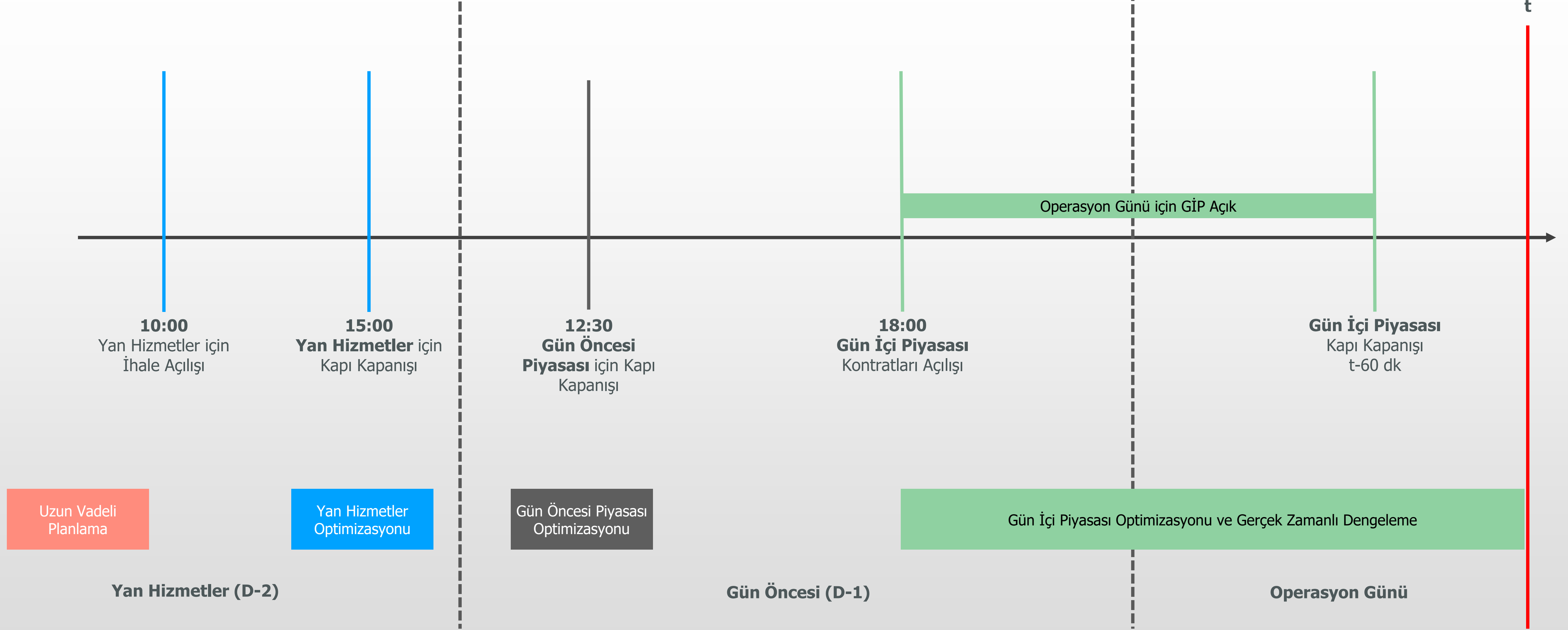
# EDEDER Öneriler - Yan Hizmetler, DGP

1. Yan hizmet ihalelerinin D-2 yerine, GÖP süreci öncesinde D-1'de yapılması
2. FFR hizmetinin yan hizmetler sürecinde eklenerek ihale ile tedarik edilmesi
3. Tedarik edilen PFK miktarının artırılması PFK kapsamında mevcut simetrik ihaleye ek olarak, YAL ve YAT yönlerinde ayrı ayrı olmak üzere 2 ihale daha yapılması
4. SFK'daki mevcut durumda 3, 4 ve 5 saatlik bloklara uygulanan sırasıyla 6.75, 9.00 ve 11.25 katsayılarının bataryalar için sabit 2.25 olacak şekilde revize edilmesi ve bataryaların SFK'ya saatlik teklif gönderebilmesine izin verilmesi, SFK tedariğinde blok ve saatlik tekliflerin GÖP gibi bir optimizasyon algoritması ile maliyet minimizasyonu şeklinde kabul edilmesi
5. SFK tedariğinin, ihale döneminin enerji dengesizliğini de gidermek maksatlı yapılması yerine tersiyer yedek devreye girene kadarki 15 dakikalık dönemin dengesizliğini gidermek adına bir kapasite tedariği şeklinde gerçekleştirilmesi
6. DGP tekliflerinin hem miktar hem de fiyat için dinamik şekilde gerçek zamandan 25 dakika öncesine kadar güncellenebilmesi
7. DGP talimatlarının, EPIAŞ'ın GÖP süreci gibi optimizasyon modeli ile otomatize edilmesi ve SMF'nin bu modelin çıktılarına göre hesaplanması

# 4 farklı optimizasyon

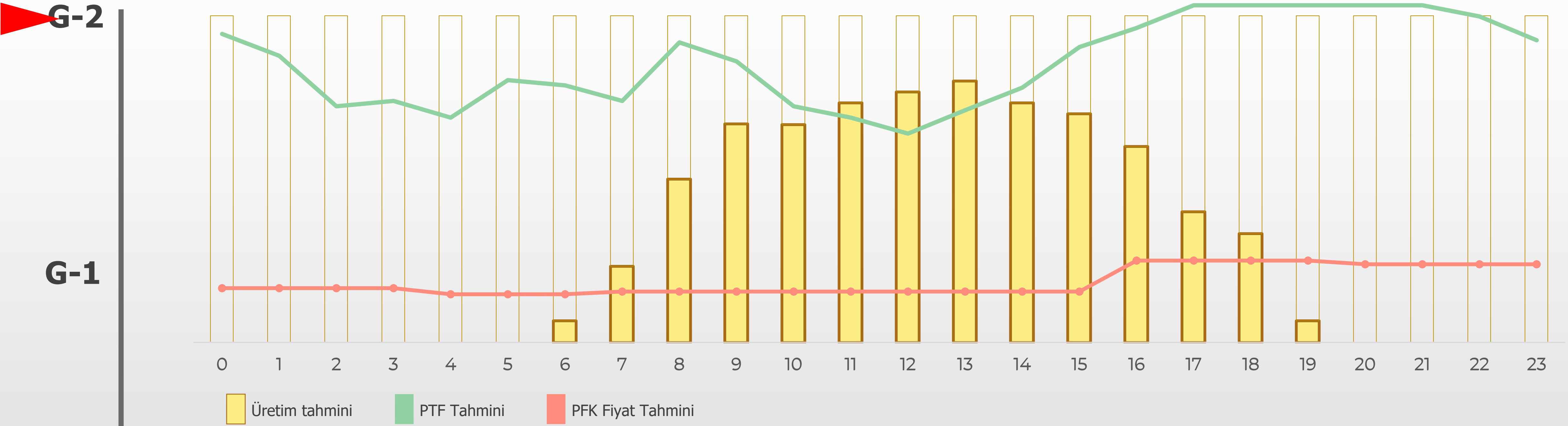


Teslimat Zamanı



# Yan Hizmetler Teklif Dönemi Optimizasyonu

Hem yan hizmetler hem de arbitraj fırsatları değerlendirilerek optimum kazancı sağlamak amaçlanır.



## Girdiler

Üretim tahmini

GÖP ve YH Fiyat Tahmini

**Arbitraj mı x Yan Hizmetler mi?**

## Çıktılar

YH Fiyat Teklifi

# Backtest Örneği

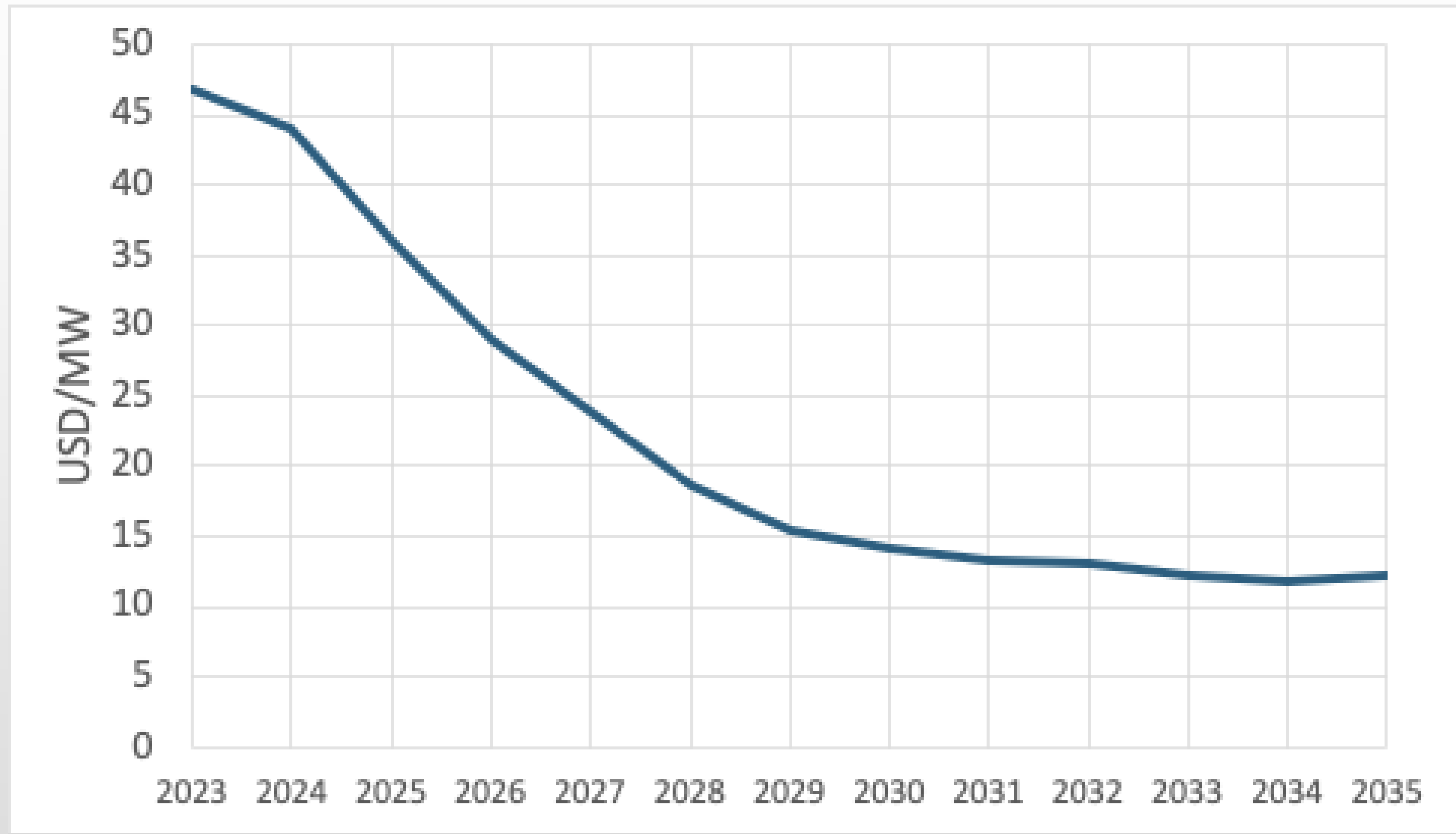
Dönem : 2024 Q1 | Tesis : 10MW Güneş, 10MW/10MWh batarya

PFK Senaryosu	Bataryasız	Bataryalı	Bataryanın Sağladığı Gelir Artışı	Curtail Oranı
Gerçekleşen PFK Fiyatı	\$355,825	\$669,436	88%	5%
Gerçekleşen PFK Fiyatının %50'si	\$355,825	\$473,167	33%	2%
Gerçekleşen PFK Fiyatının %25'i	\$355,825	\$391,702	10%	1%
PFK Yok	\$355,825	\$369,942	4%	0%

- PFK fiyatları mevcut koşullarda **çok cazip.**
- O kadar ki bazı saatlerde **santrali curtail** edip daha fazla PFK sağlama daha optimum olabiliyor.
- Çok sayıda bataryanın olduğu senaryoda fiyat rekabeti olacağı için **PFK fiyatları düşecektir.**

Gerçekleşen fiyatlar baz alınmıştır.  
YEKDEM değil piyasa satışı esas alınmıştır.  
Mükemmel tahmin varsayımı ile gerçekleşmiştir.

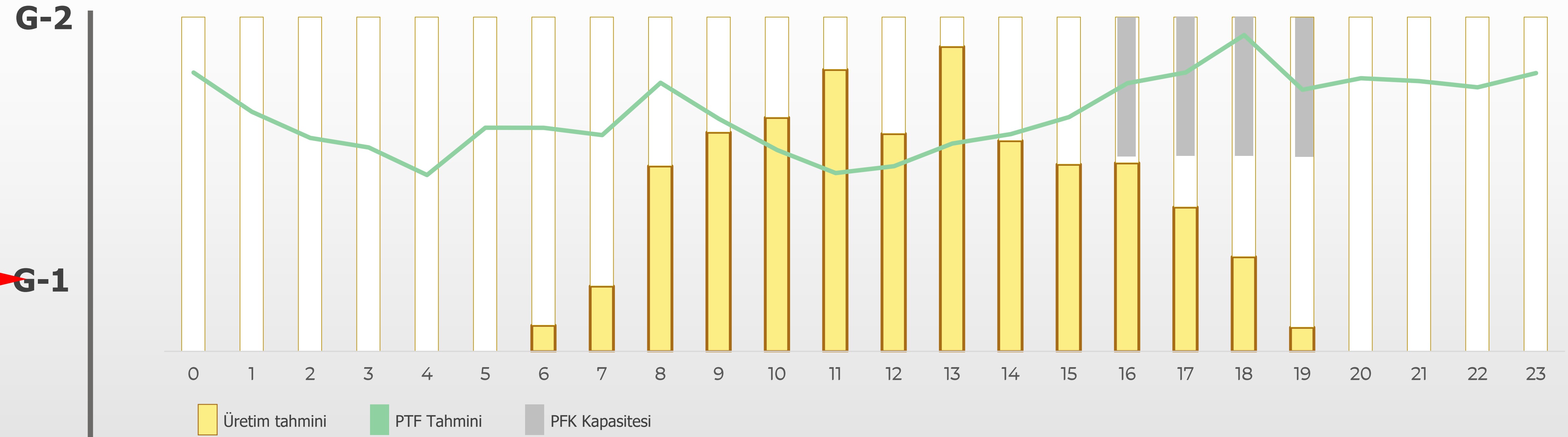
# Cannibalization



- SFK ve PFK'nın ağırlıklı ortalama fiyatının, yani Rezerv Kapasite Fiyatının bataryaların etkisi ile düşmesini bekliyoruz.

# Gün Öncesi Piyasası İçin Optimizasyon

Yan hizmetler piyasası sonucu belli, göp fiyat tahmini ve üretim tahmini kullanarak optimum batarya kullanımını belirleme



## Girdiler

- Üretim tahmini
- GÖP Fiyat Tahmini
- YH Sonuçları

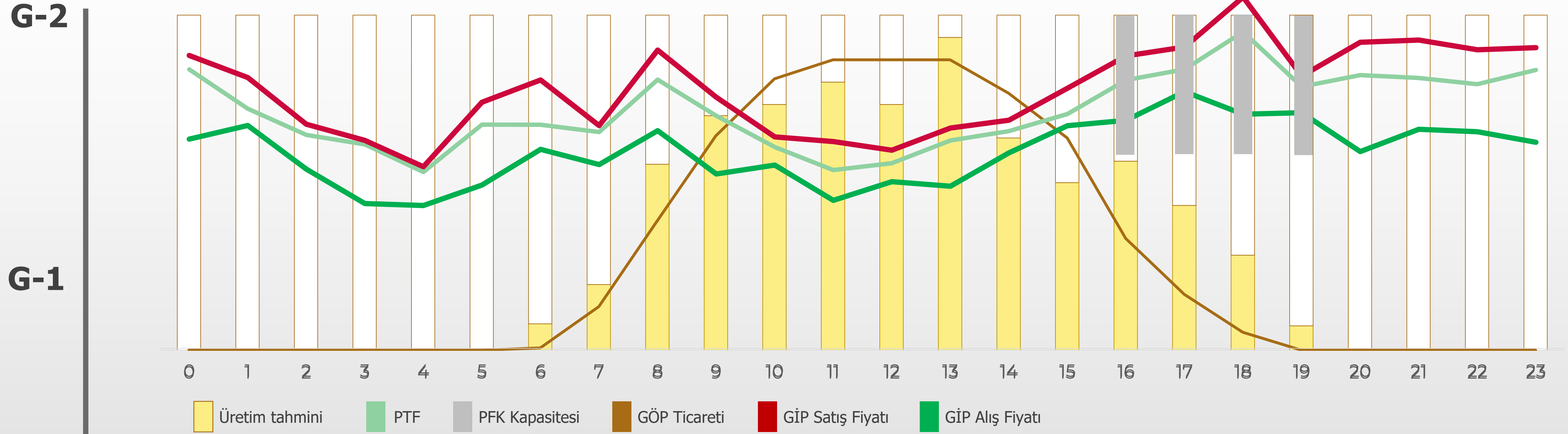
## Optimum batarya kullanımı

## Çıktılar

- GÖP Teklifi

# Gün İçi Piyasası İçin Optimizasyon

YH ve GÖP sonuçları ışığında canlı GİP fiyatları ve güncel üretim tahmini ile optimum bataryaya planı belirleme



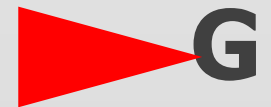
## Girdiler

Üretim tahmini  
GÖP Sonuçları  
YH Sonuçları

Gip Tahtası fiyatları  
Bataryanın canlı durumu

## Çıktılar

Gip Ticareti  
Batarya Şarj/Deşarj Kararı





# Alıcı – Satıcı Tahtası

Buy			Sell		
C.Amount	Quantity	Price	Price	Quantity	C.Amount
7	7	1,714.50	1,768.80	13	13
26	19	1,710.30	1,768.90	60	73
60	34	1,710.20	1,769.40	7	80
110	50	1,710.00	1,769.70	7	87
124	14	1,702.00	1,769.90	12	99
149	25	1,702.00	1,770.00	26	125
189	40	1,700.00	1,790.80	38	163
214	25	1,661.00	1,790.90	15	178
231	17	1,651.10	1,791.00	20	198
295	64	1,651.00	1,799.90	200	398

- Örnek bir saat için piyasa işlem tahtası
- Alıcı ve satıcılar sürekli değişiyor



# Bu her saat için takip ediliyor

## 11:00

Buy			Sell		
C.Amount	Quantity	Price	Price	Quantity	C.Amount
7	7	1,714.50	1,768.80	13	13
26	19	1,710.30	1,768.90	60	73
60	34	1,710.20	1,769.40	7	80
110	50	1,710.00	1,769.70	7	87
124	14	1,702.00	1,769.90	12	99
149	25	1,702.00	1,770.00	26	125
189	40	1,700.00	1,790.80	38	163
214	25	1,661.00	1,790.90	15	178
231	17	1,651.10	1,791.00	20	198
295	64	1,651.00	1,799.90	200	398

## 12:00

Buy			Sell		
C.Amount	Quantity	Price	Price	Quantity	C.Amount
7	7	1,714.50	1,768.80	13	13
26	19	1,710.30	1,768.90	60	73
60	34	1,710.20	1,769.40	7	80
110	50	1,710.00	1,769.70	7	87
124	14	1,702.00	1,769.90	12	99
149	25	1,702.00	1,770.00	26	125
189	40	1,700.00	1,790.80	38	163
214	25	1,661.00	1,790.90	15	178
231	17	1,651.10	1,791.00	20	198
295	64	1,651.00	1,799.90	200	398

## 13:00

Buy			Sell		
C.Amount	Quantity	Price	Price	Quantity	C.Amount
7	7	1,714.50	1,768.80	13	13
26	19	1,710.30	1,768.90	60	73
60	34	1,710.20	1,769.40	7	80
110	50	1,710.00	1,769.70	7	87
124	14	1,702.00	1,769.90	12	99
149	25	1,702.00	1,770.00	26	125
189	40	1,700.00	1,790.80	38	163
214	25	1,661.00	1,790.90	15	178
231	17	1,651.10	1,791.00	20	198
295	64	1,651.00	1,799.90	200	398

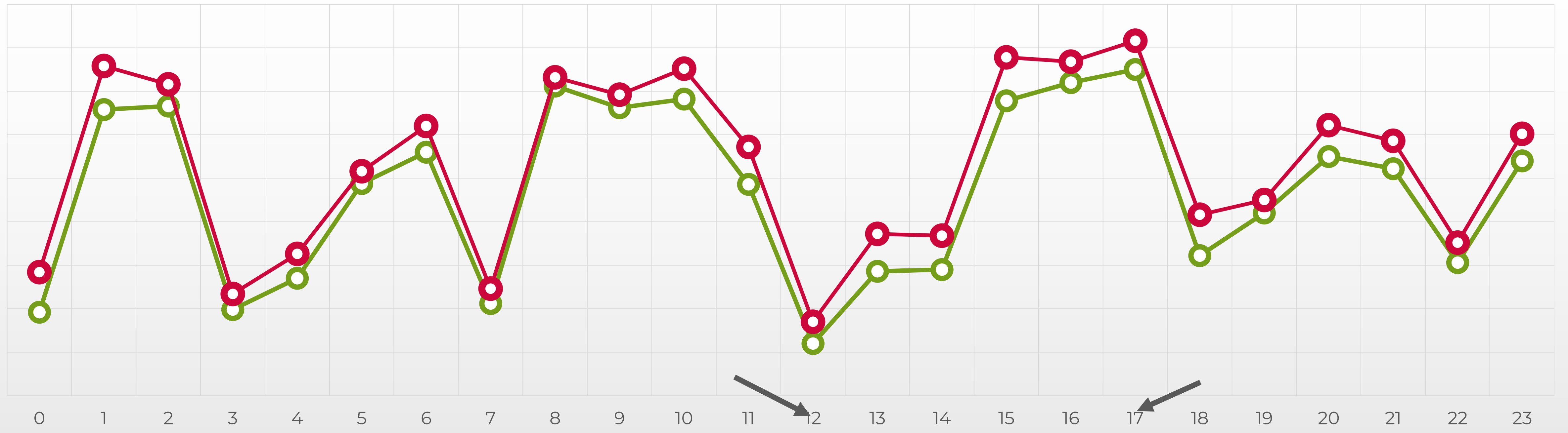
## 14:00

Buy			Sell		
C.Amount	Quantity	Price	Price	Quantity	C.Amount
7	7	1,714.50	1,768.80	13	13
26	19	1,710.30	1,768.90	60	73
60	34	1,710.20	1,769.40	7	80
110	50	1,710.00	1,769.70	7	87
124	14	1,702.00	1,769.90	12	99
149	25	1,702.00	1,770.00	26	125
189	40	1,700.00	1,790.80	38	163
214	25	1,661.00	1,790.90	15	178
231	17	1,651.10	1,791.00	20	198
295	64	1,651.00	1,799.90	200	398

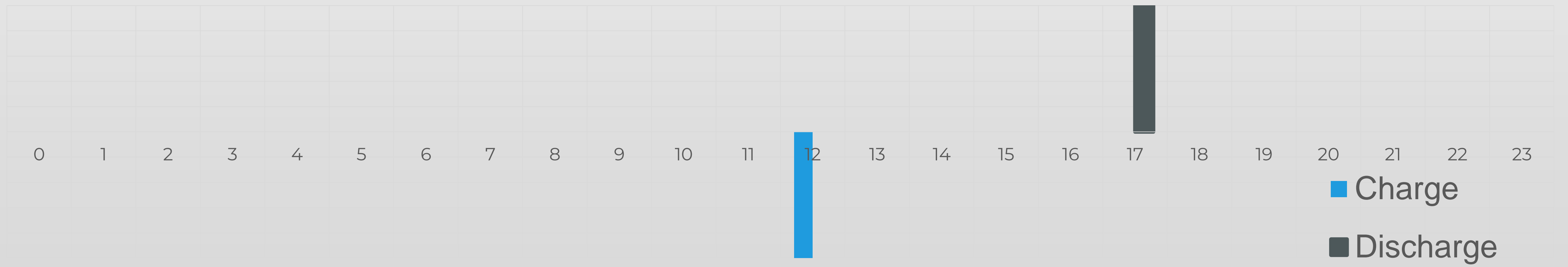
...

...

# En iyi fiyatlar arasında arbitraj ve buna göre batarya planı

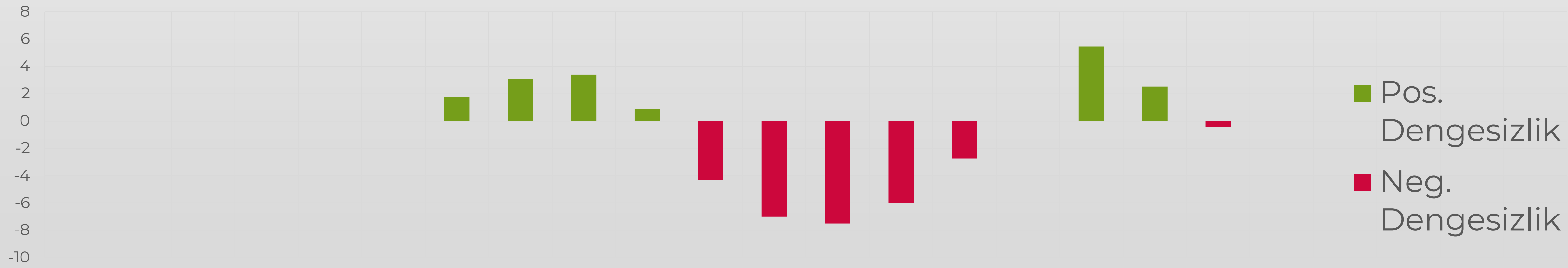
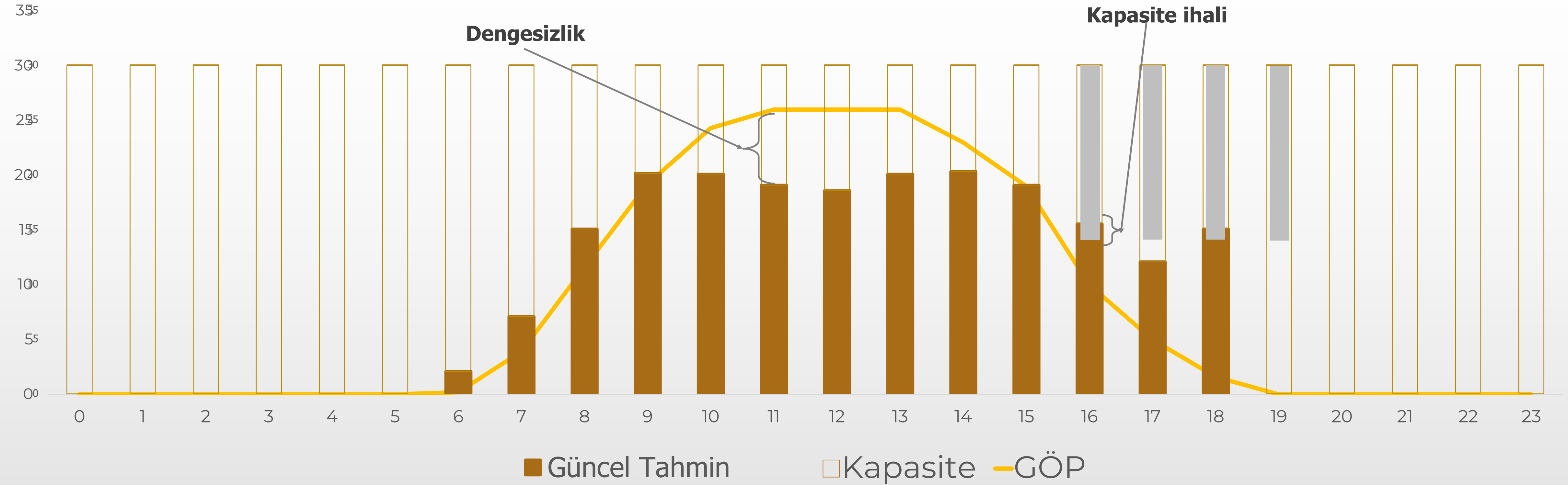


○Alici ○Satici



■ Charge  
■ Discharge

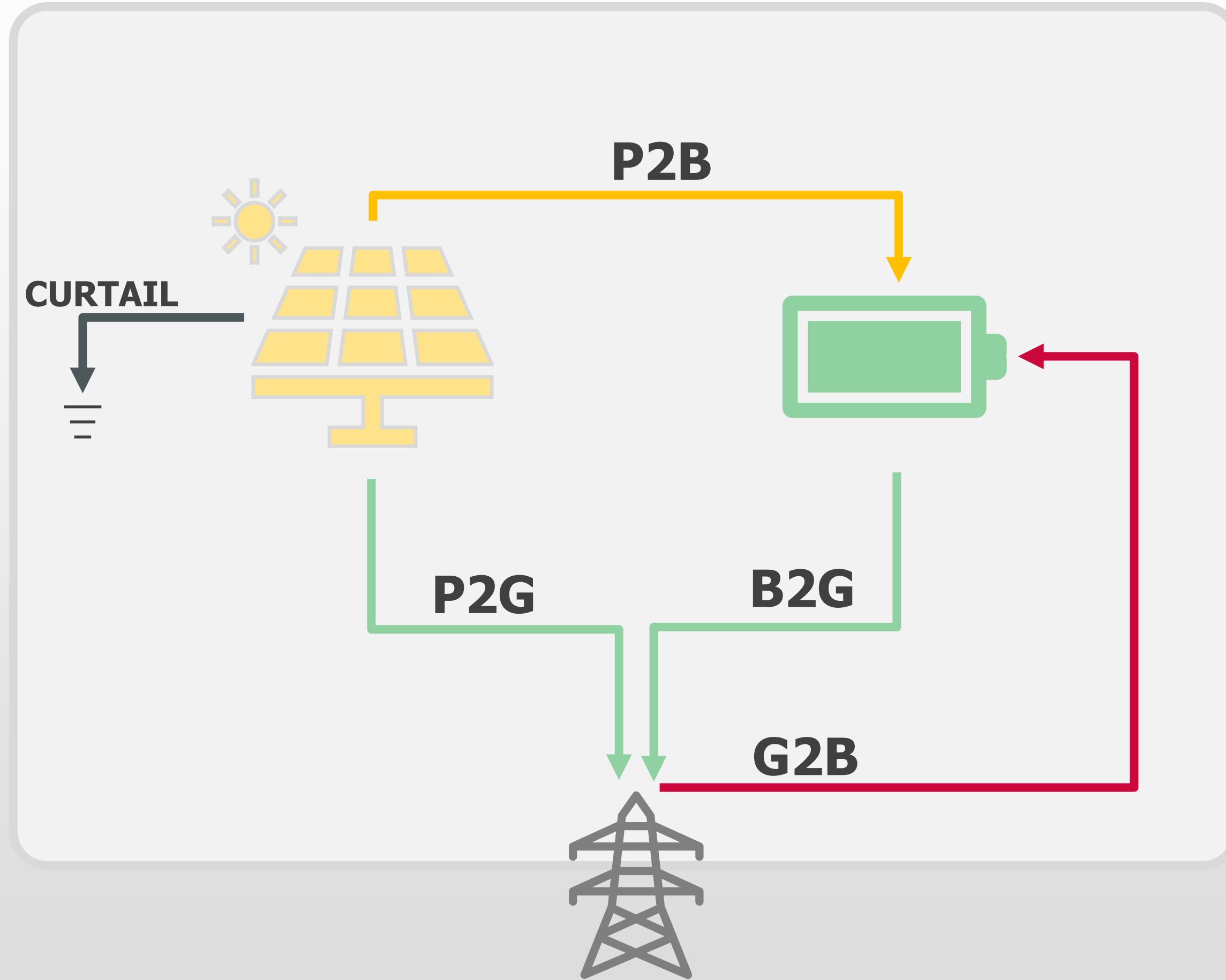
# Gerçek hayatta problem çok daha karmaşık



# Sorular

- Saat 12:00 de şarj ederken bataryamda **yeteri kadar kapasite** var mı?
- Kapasite **yoksa önceden deşarj edip** tekrar bu cycle yaparak anlamlı bir kazanç oluşur mu?
- Dengesizlik maliyetleri oluşacak, **bataryayı orada kullanmak mı** yoksa bunları piyasada kapatmak mı?
- Beklenen üretim, yan hizmetler kapasitesini kısıtlıyor. Bu durumda **santralin curtail edilmesi mi yoksa bataryayı kullanarak bu enerjiyi depolamak mı?** Oysa arbitraj olacak olsa idi burada deşarj yapmamız gerekiyordu.





## Fiziksel Akış Kararları

**P2B(h)** : Plant to battery

**P2G(h)** : Plant to grid

**B2G(h)** : Battery to grid

**G2B(h)** : Grid to battery

**Curtail(h)**

## Finansal Kararlar

**BUY(h)**

**SELL(h)**

Tüm **kısıtları ve fırsatları** çok kısa bir süre içinde değerlendirip doğru karar vermek : **OPTİMİZASYON**



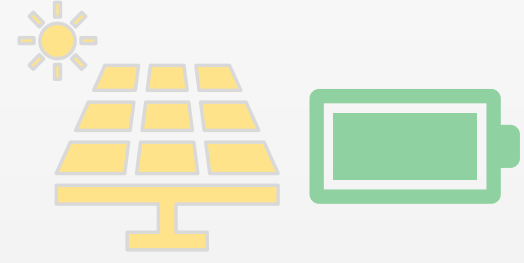
smartPulse



# Örnek bir GİP Optimizasyon Uygulaması

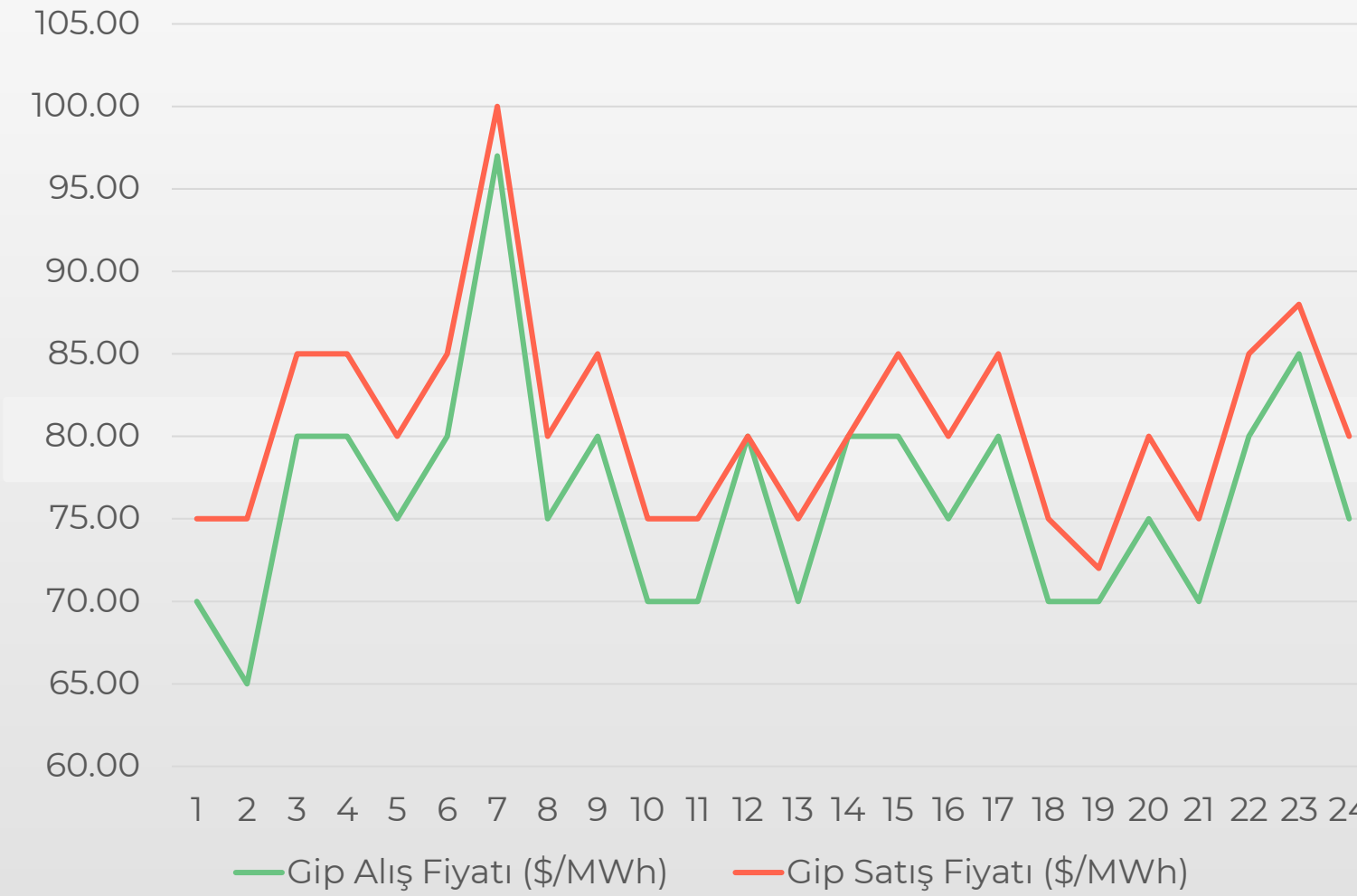
Tahmin sapması hiç yok tek hedef : Arbitraj

## Tesisin Temel Özellikleri

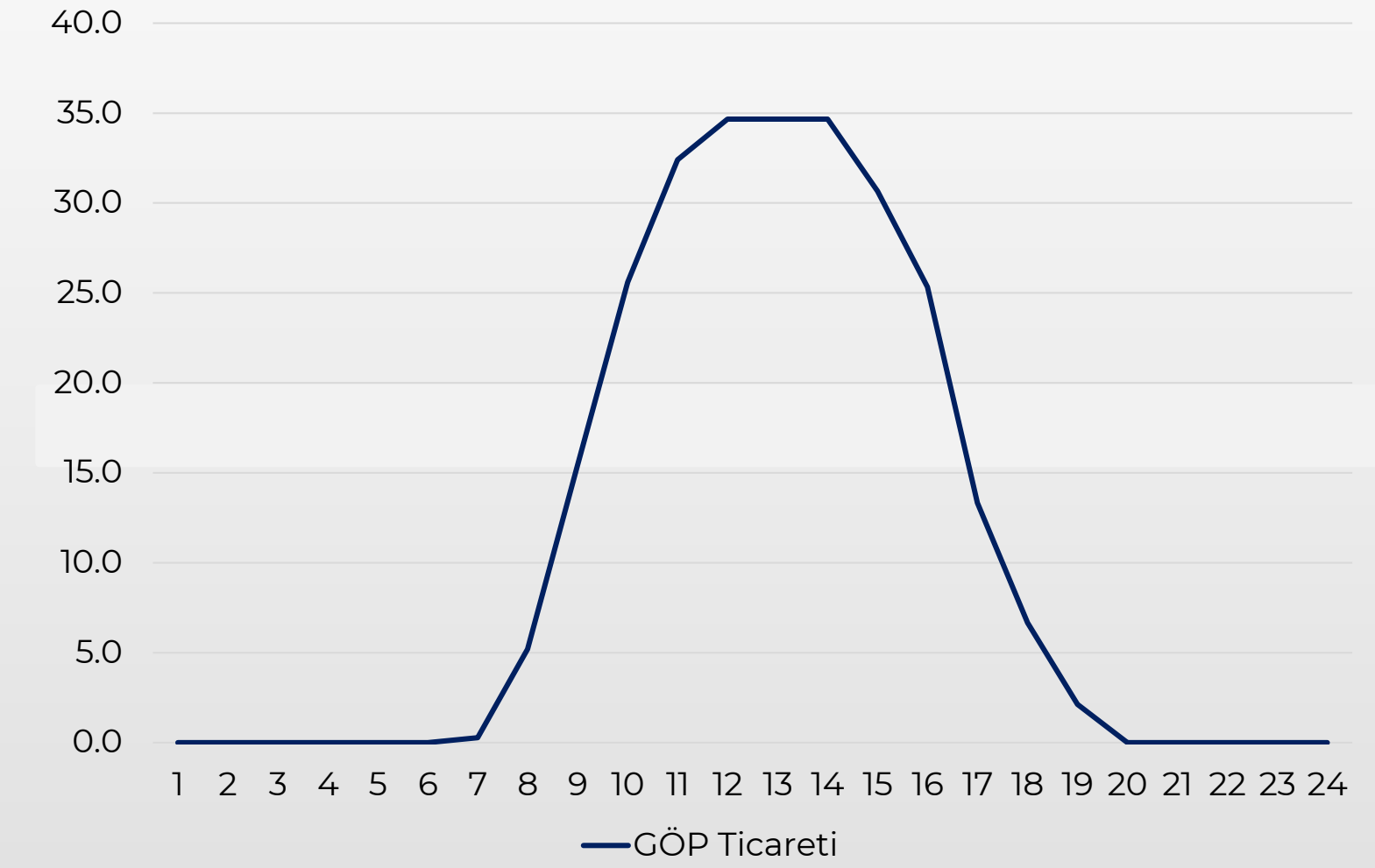


Kurulu Güç	MW	40
Batarya Kapasitesi	MWh	40
Minimum SoC	%	10%
Maksimum SoC	%	90%
Başlangıç Soc	%	50%

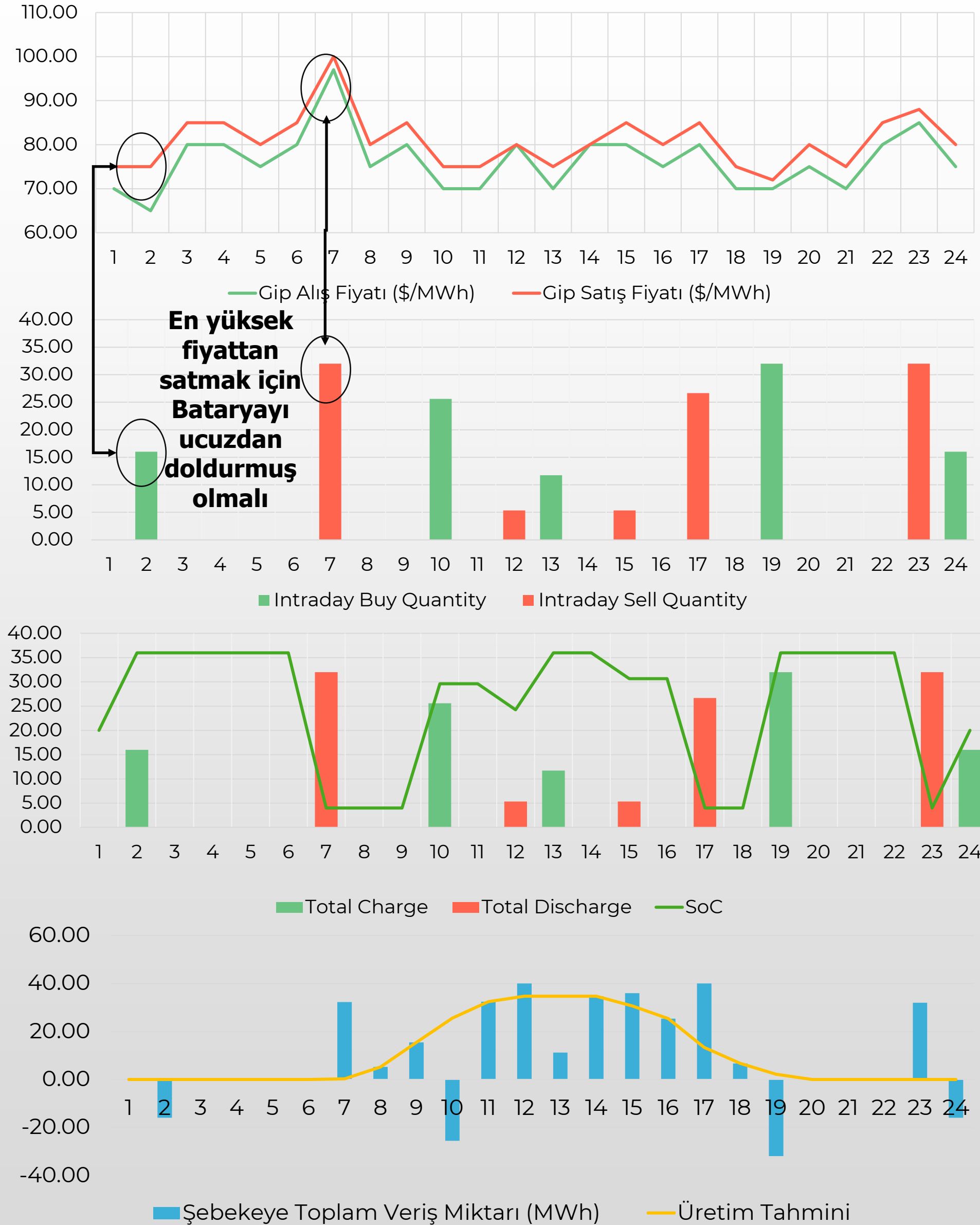
## GİP Tahtalarının Anlık Görüntüsü



## GÖP Ticareti = Güncel Üretim Tahmini

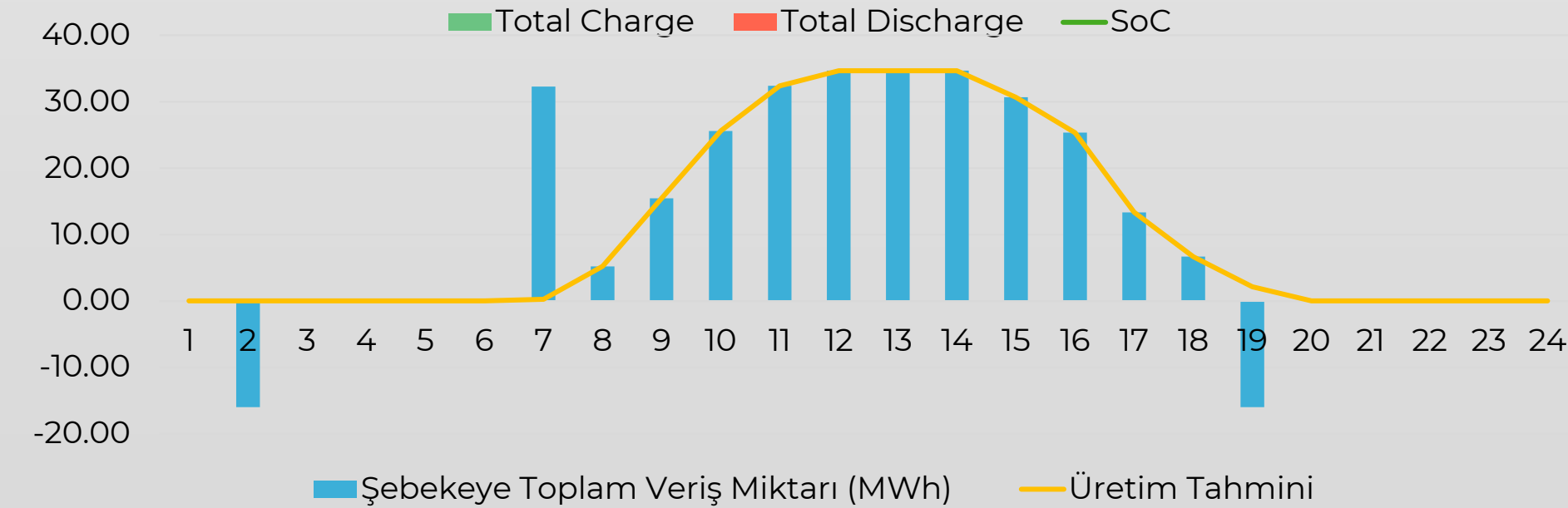
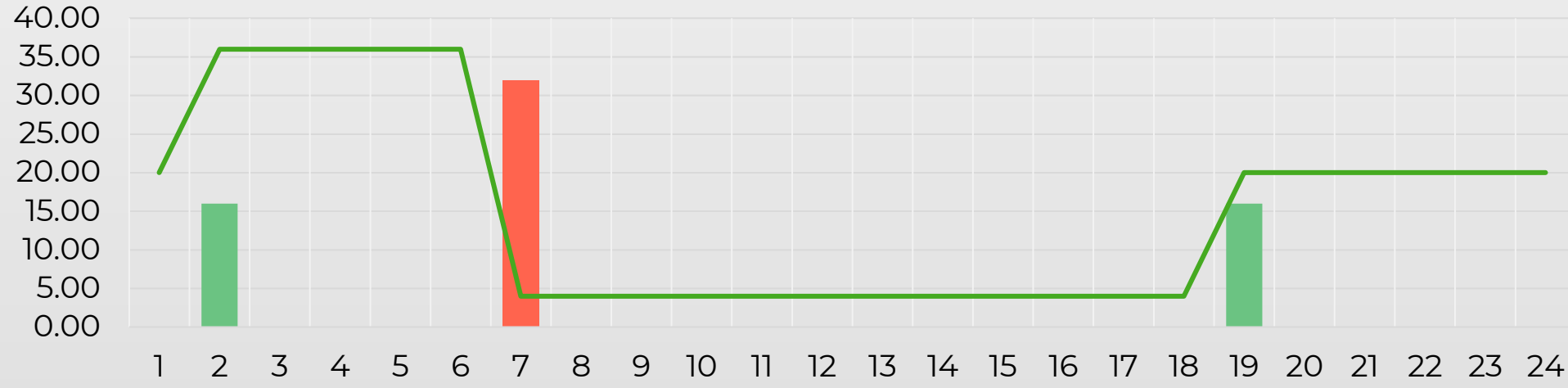
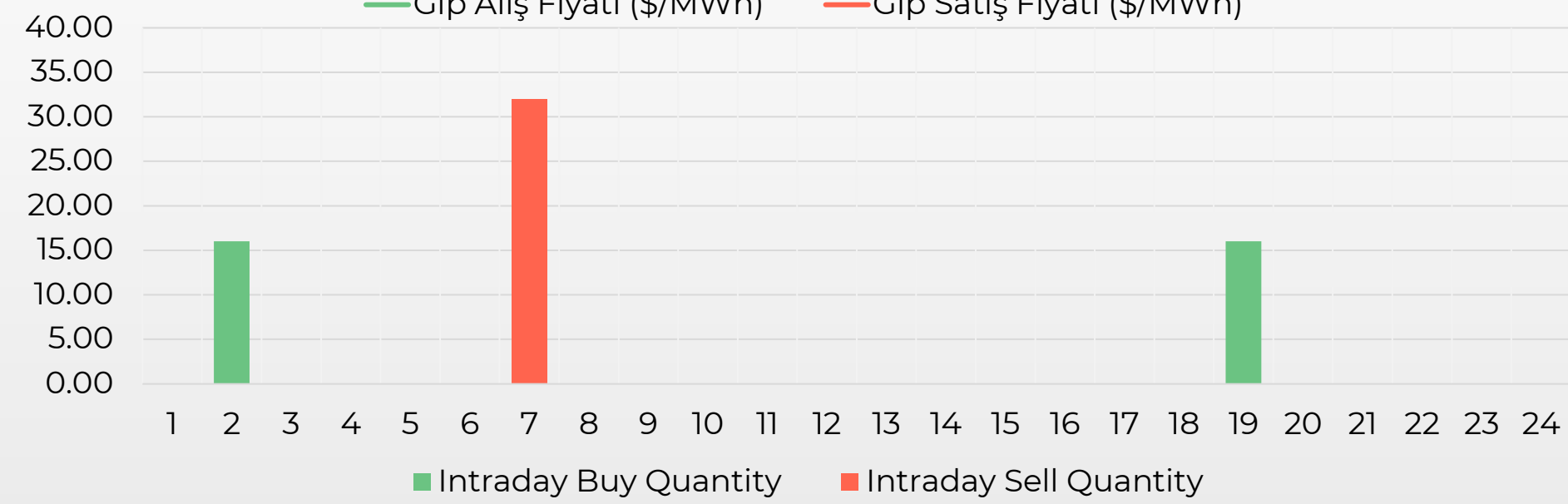
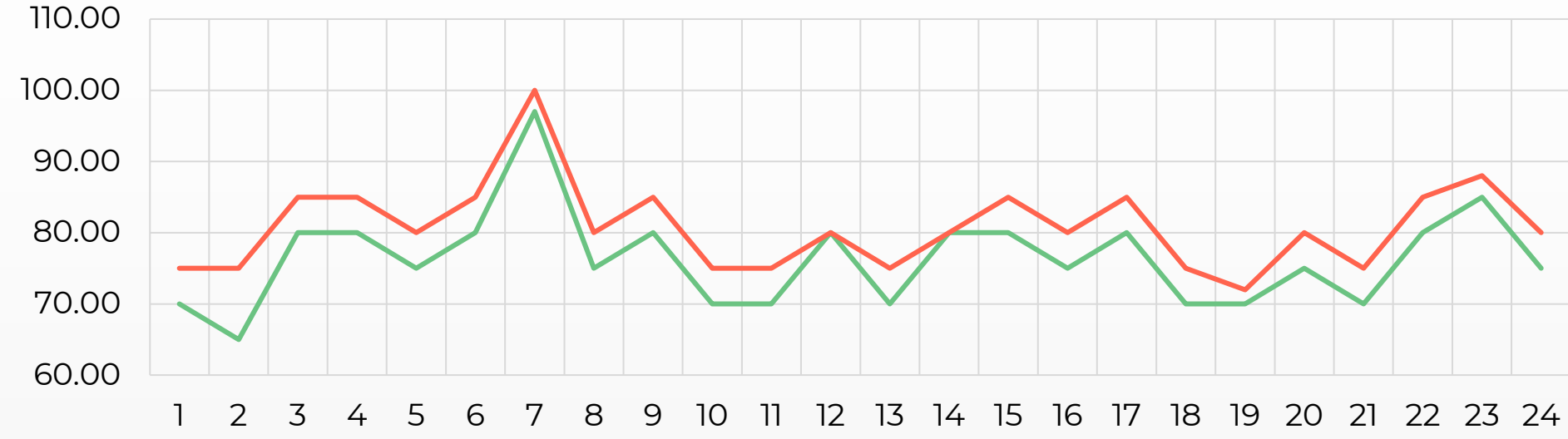


# Sadece GİP Arbitraji Optimizasyon sonuçları



- Tahmin sapması olmadığı varsayımından **sadece arbitraj** modunda çalıştı.
- Önce bir ticari plan oluşturdu sonra da bu plana uygun bir **şarj/deşarj planı**
- Ancak **çok küçük fiyat arbitrajında bile** çalıştı.
- Bazı saatlerde bu marjı maksimize etmek için daha fazla alış/satış yapabilirdi ancak yapamadı çünkü bir engeli var : **şebekeye verilebilecek güç sınırı**
- Bu kadar sık al/sat yapması gerçek hayat için geçerli değil, çünkü modelin bir bilgiyi daha dikkate alması gerekiyor : **cycle cost!**

# Sadece GİP Arbitraji Optimizasyon sonuçları – CycleCost ile



- Cycle cost ekleyince batarya **sadece 1 sefer** arbitraj yapmaya çalıştı.
- Bu bilgi düzenli olarak **yeniden hesaplanmalı** ve günlük ticari modele eklenmeli.
- Başlangıçta **SoC %50 idi hedef** olarak yine aynı şekilde bitirmesini koşul olarak ekledik.
- Bu sebeple en ucuz şekilde tekrar aynı seviyeye geldi.
- Optimizasyon dönemi sonunda bataryada **bulunan enerjinin de bir değeri** var. Planlama buna göre yapılmalı.

# Dengesizlik?



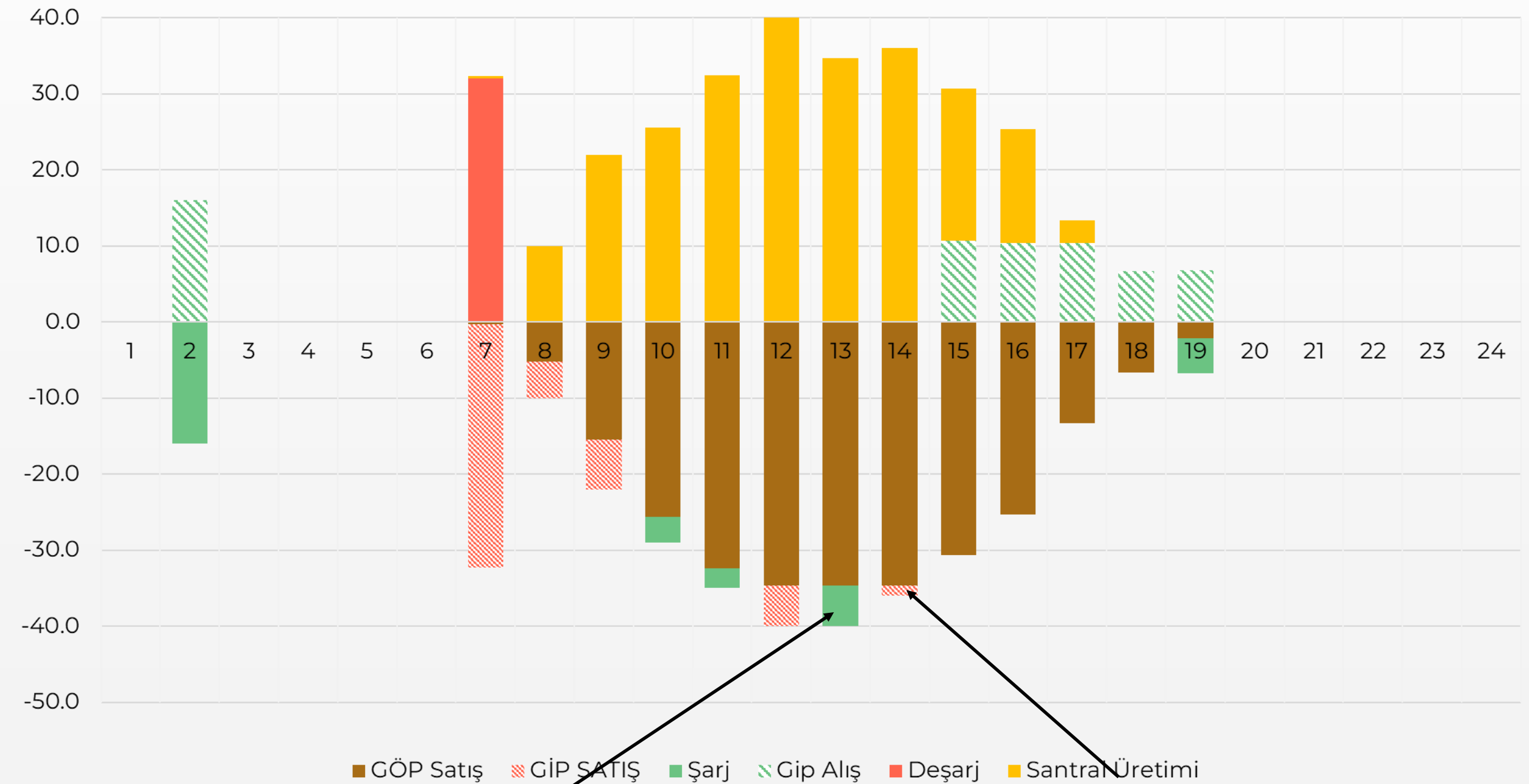
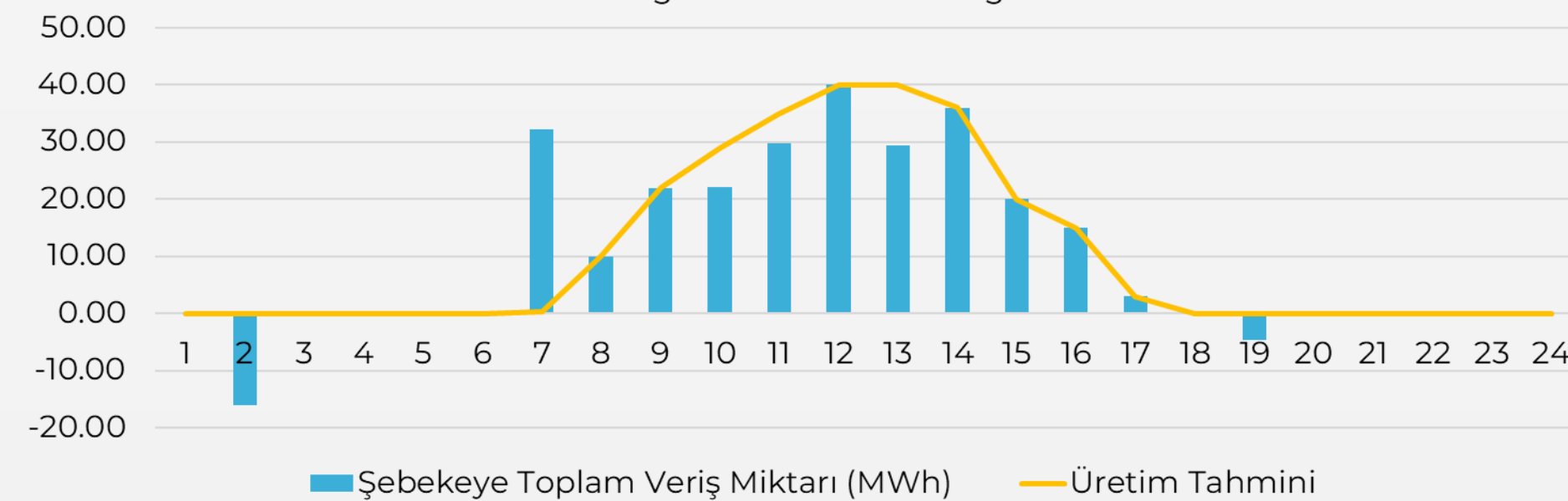
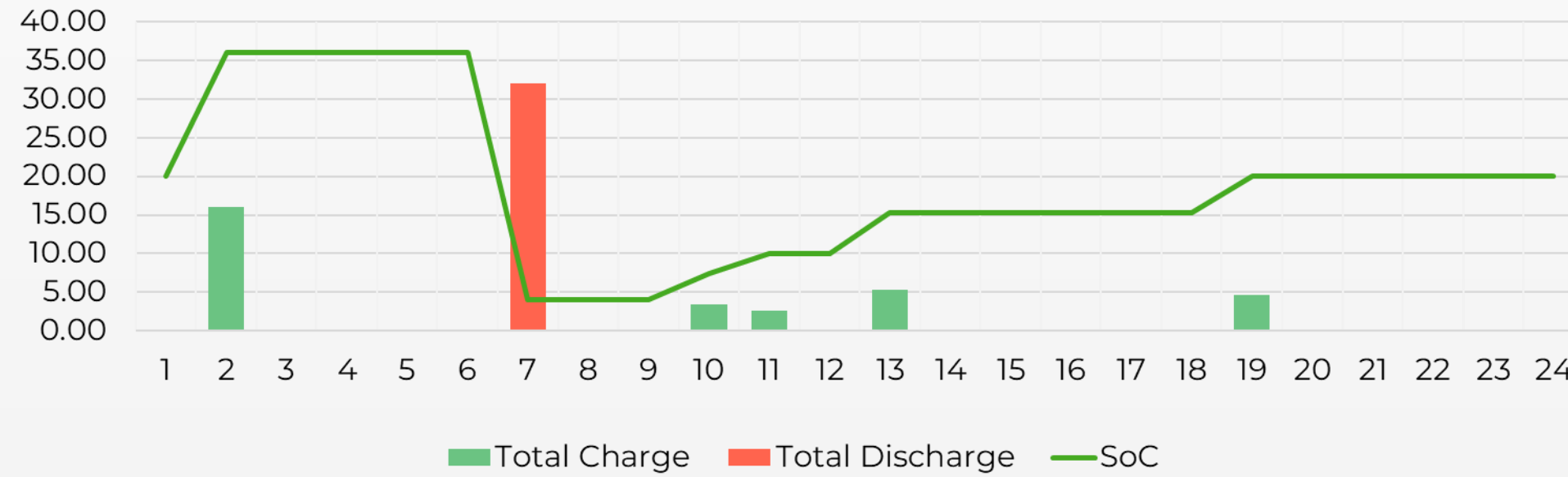
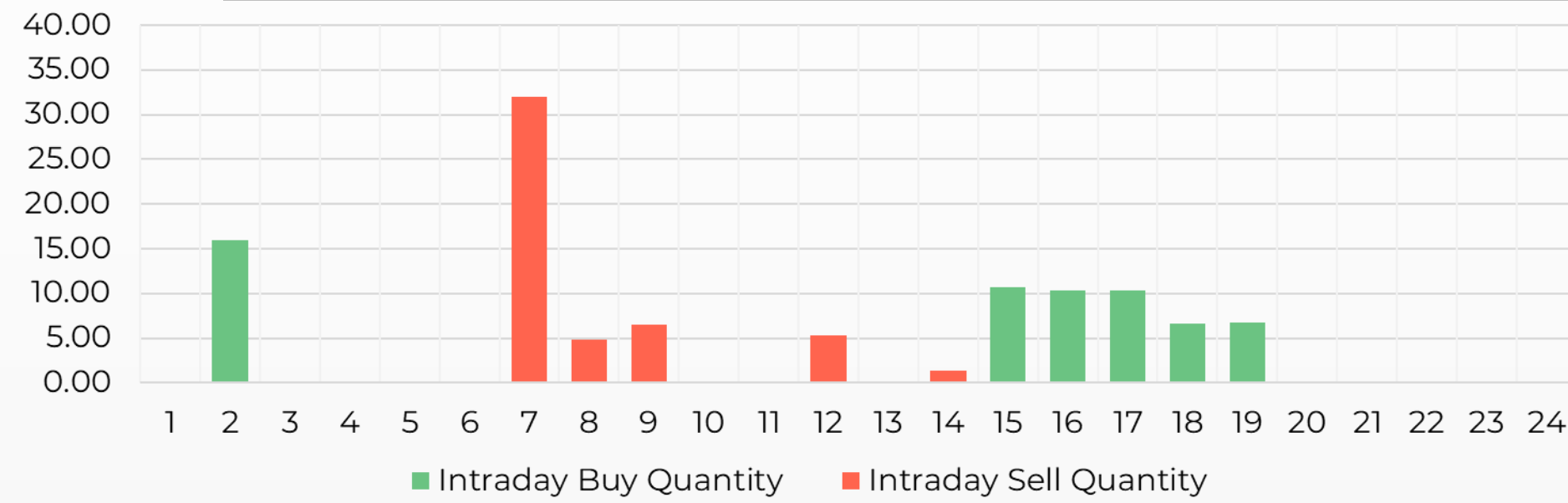
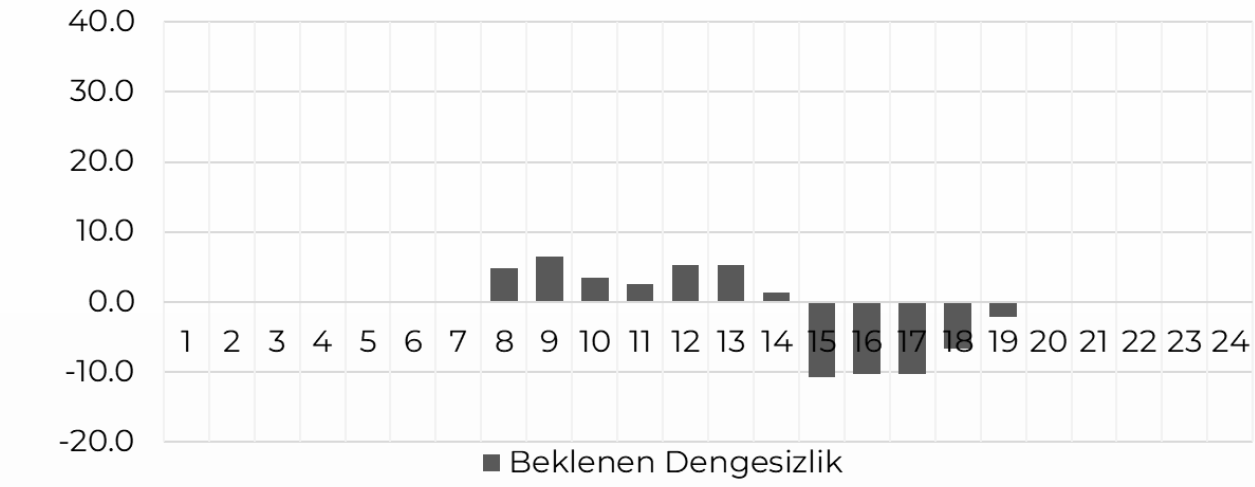
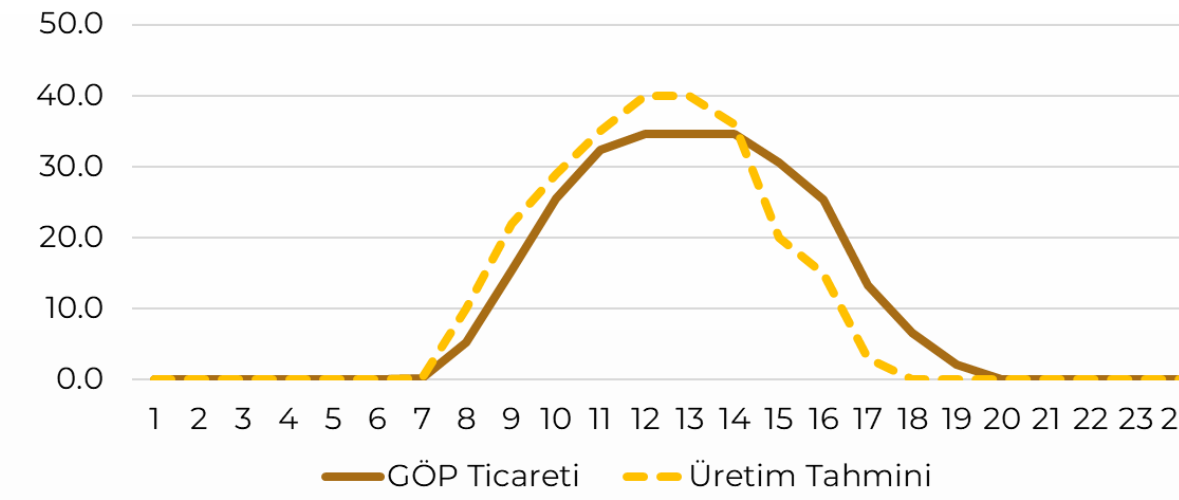
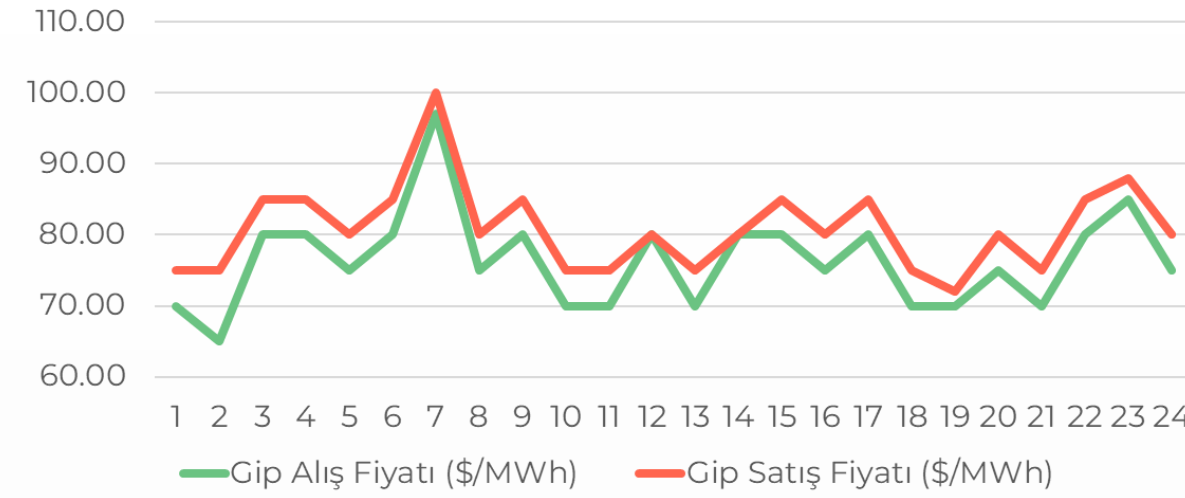
smartPulse



# Daha karmaşık bir Örnek : Arbitraj + Dengesizlik



smartPulse



**Ticaret ile dengeleme**  
**Batarya ile dengeleme**

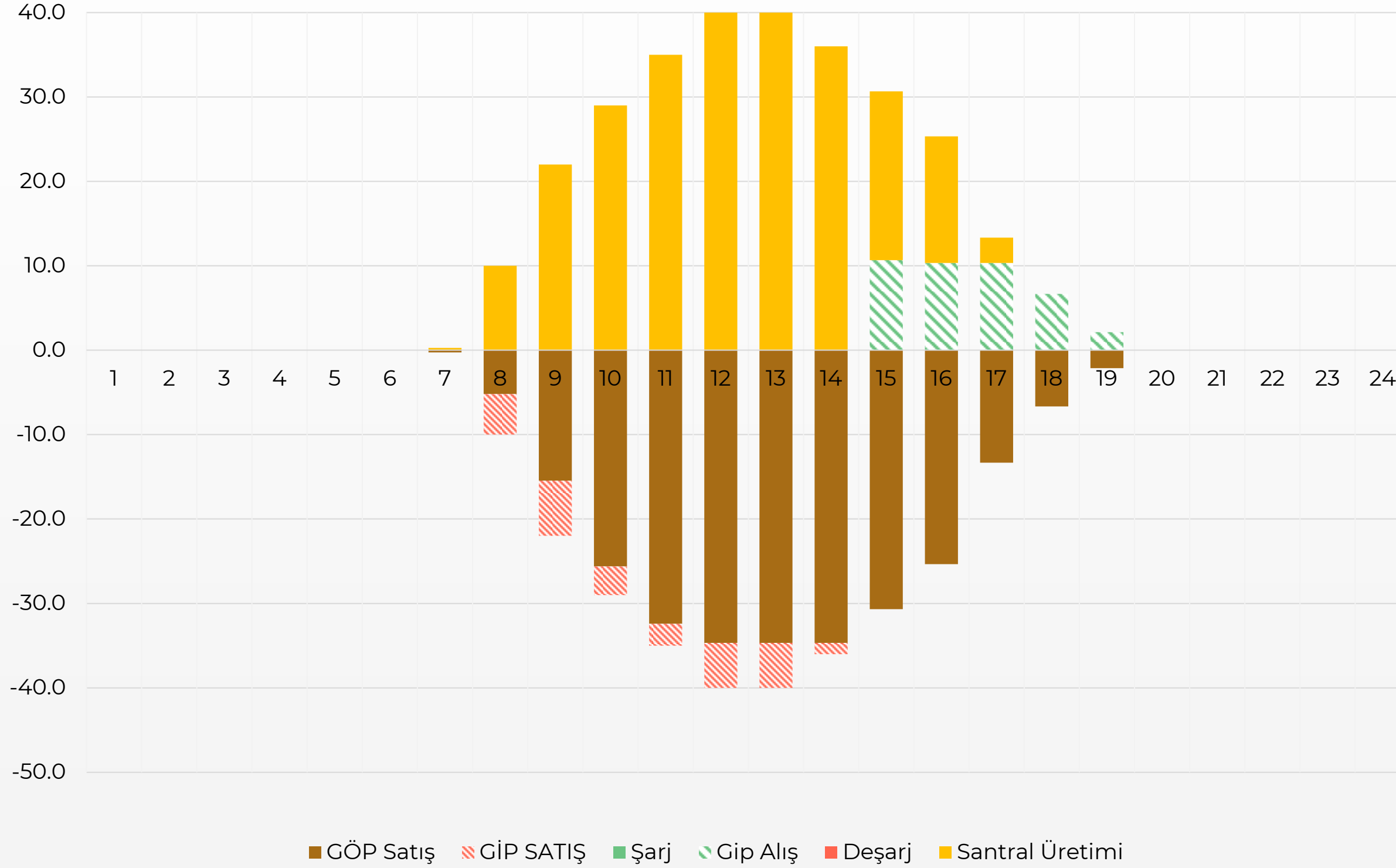
# Örnek 2 sonuçları için bataryalı / bataryasız karşılaştırması



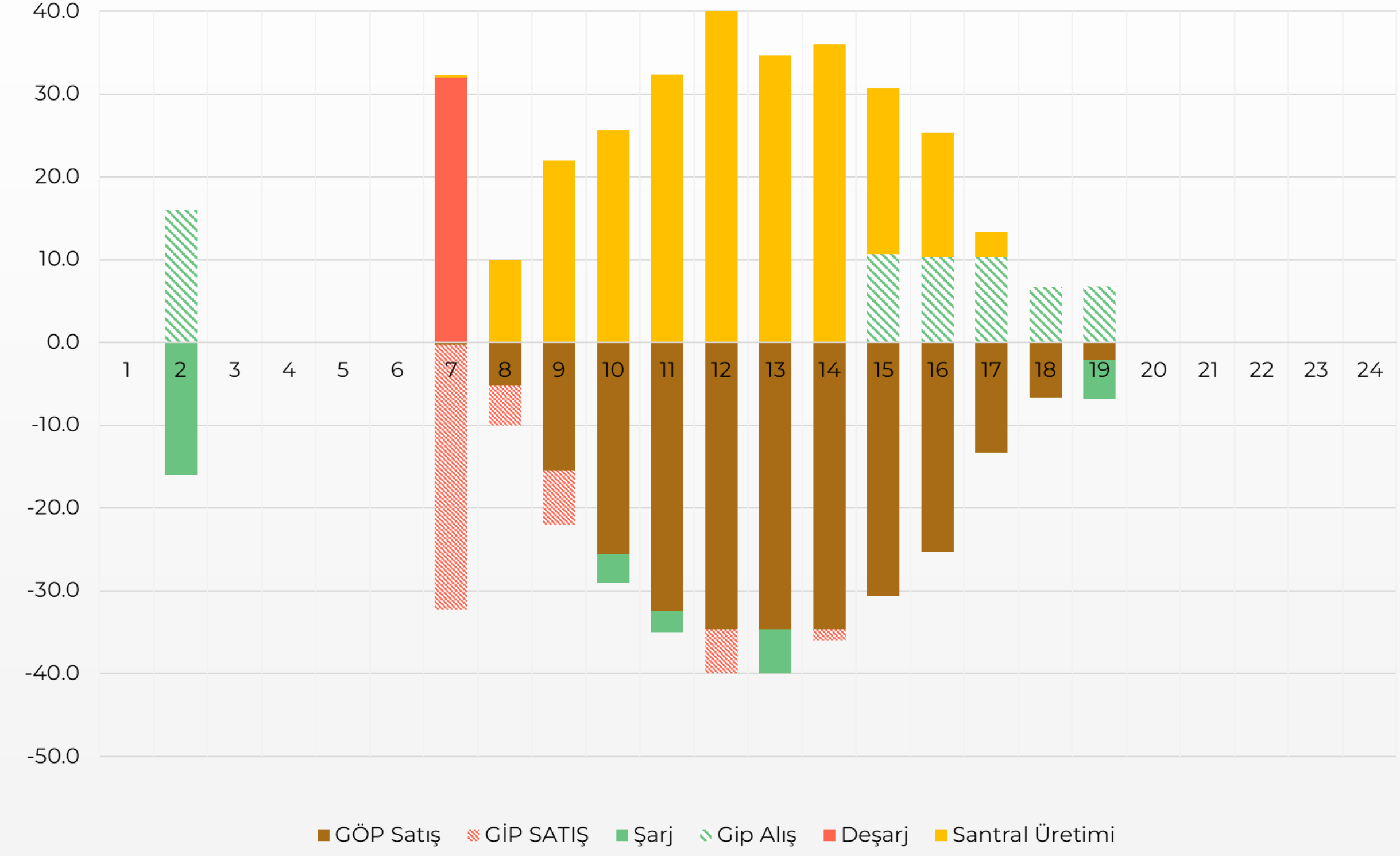
smartPulse



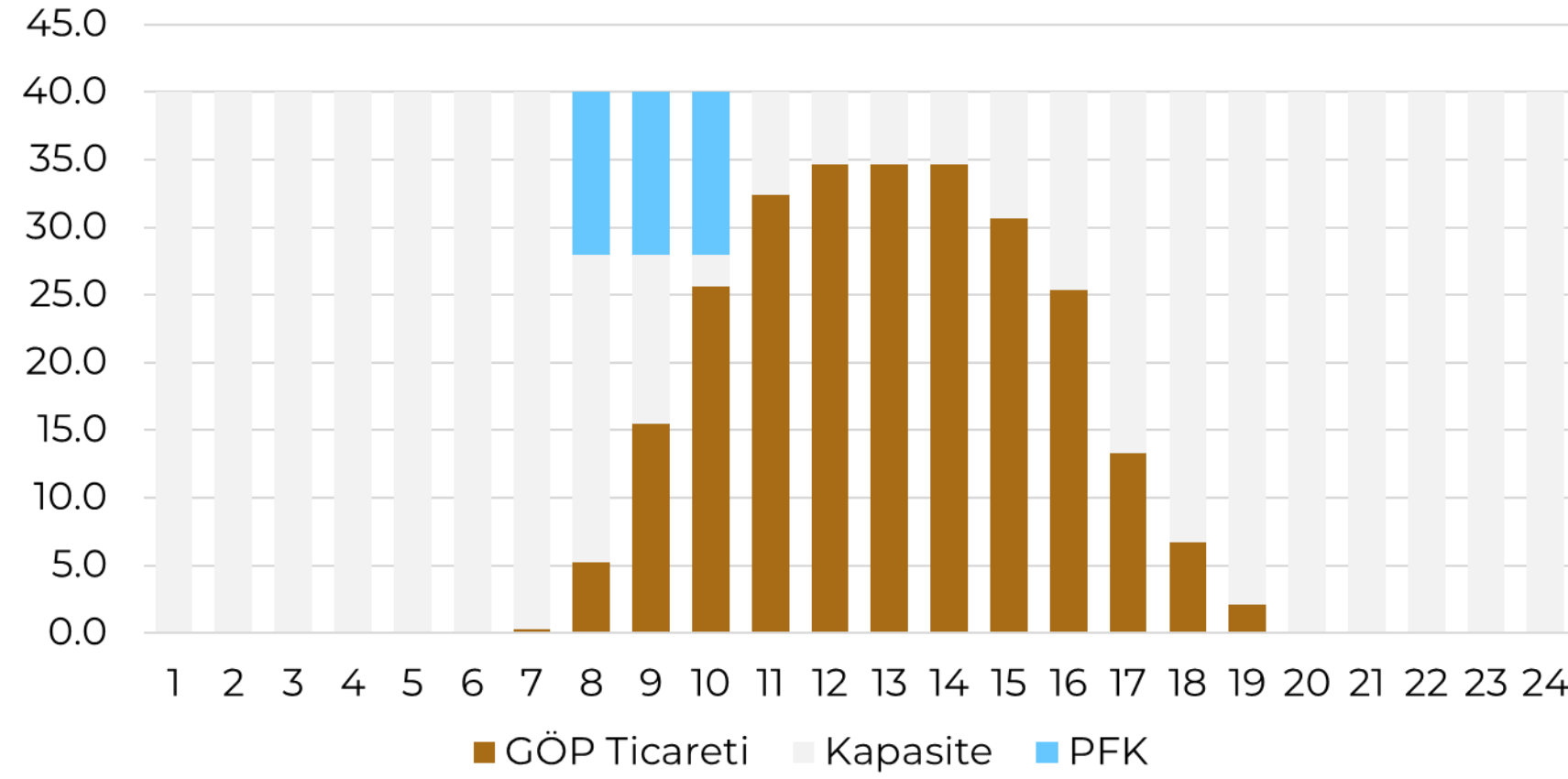
## Bataryasız



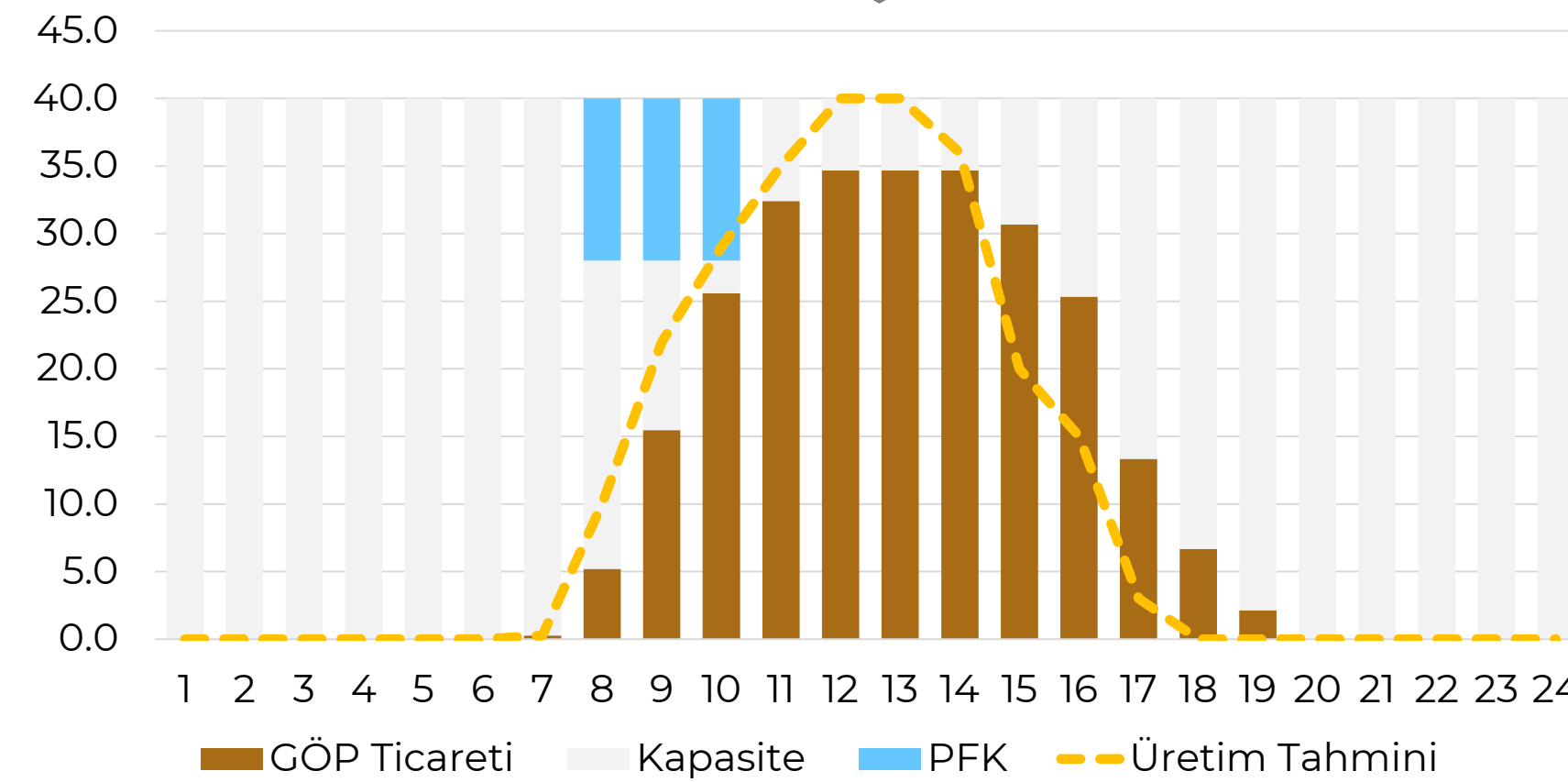
## Bataryalı



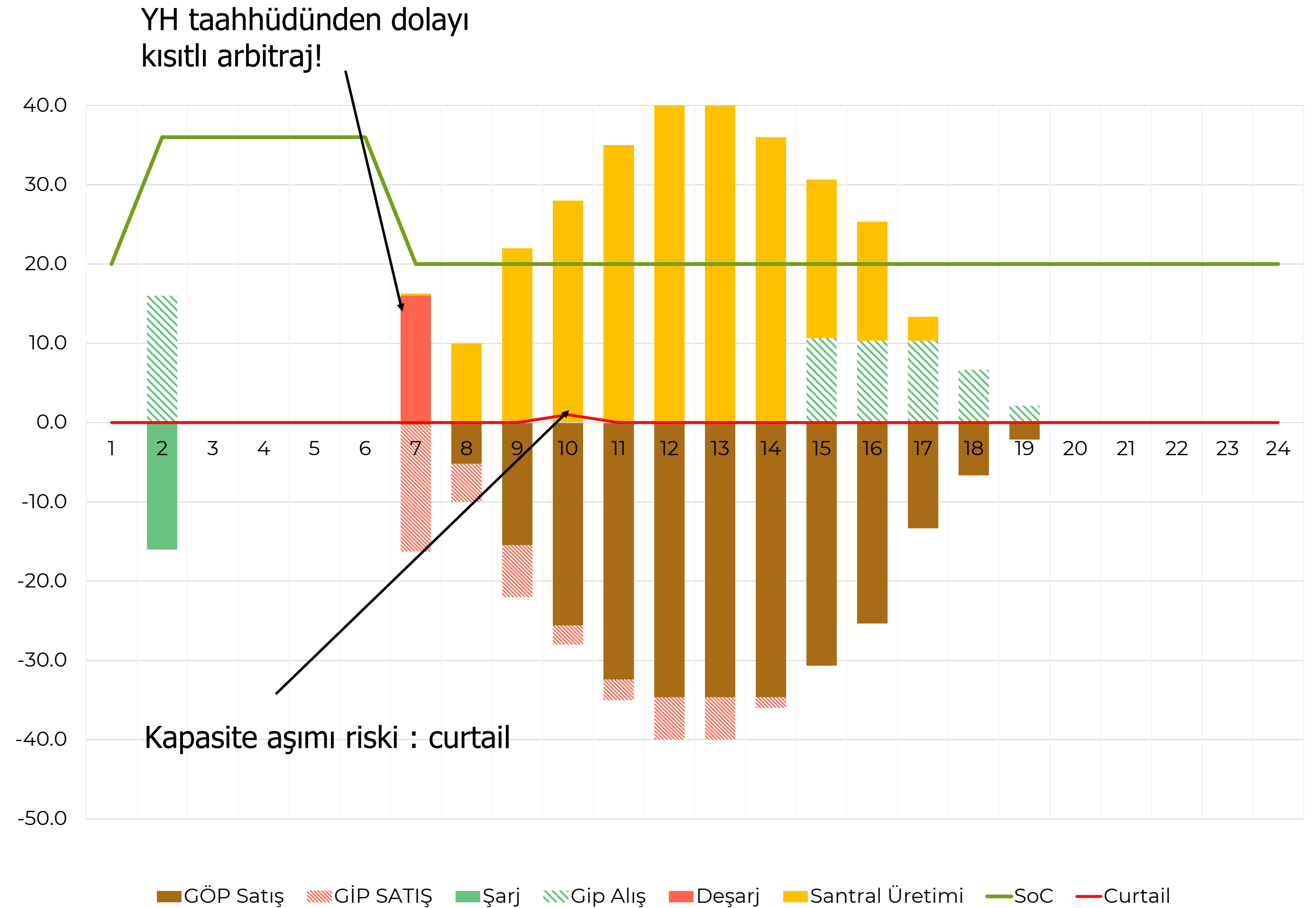
# Gerçek hayata daha yakın bir örnek: Arbitraj + Dengesizlik + YH



Gün öncesinden YH kapasitesi ve GÖP satışları tamamlanmış durumda.



Ancak 10. saatte bir sorun var : kapasite aşımı



YH taahhüdünden dolayı kısıtlı arbitraj!

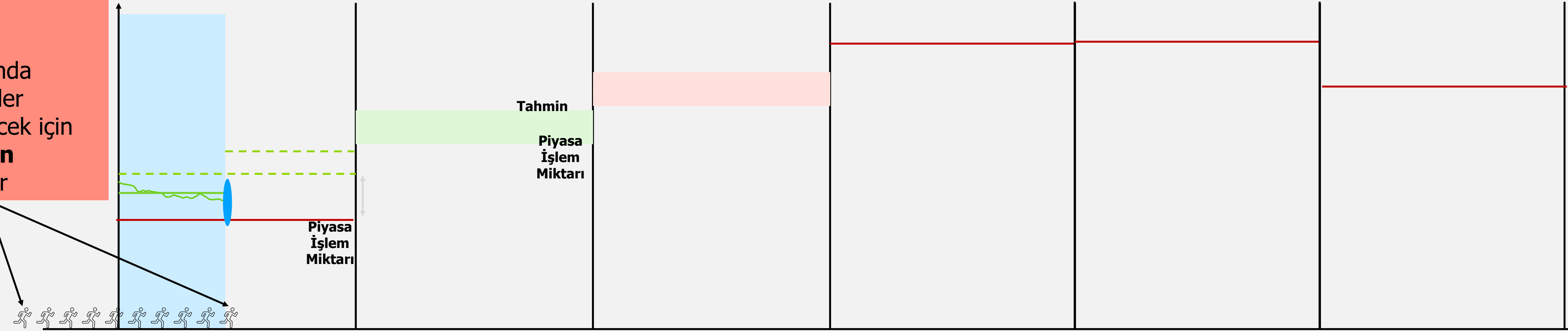
Kapasite aşımı riski : curtail

# Her iterasyon ile batarya planı yeniden belirlenir



Önceki plan zaten ticarete ve SoC ye yansımıştır.

Optimizasyon iteratif çalışır.  
Her iterasyonda değişen bilgiler ışığında gelecek için **yeni bir plan** oluşturulabilir

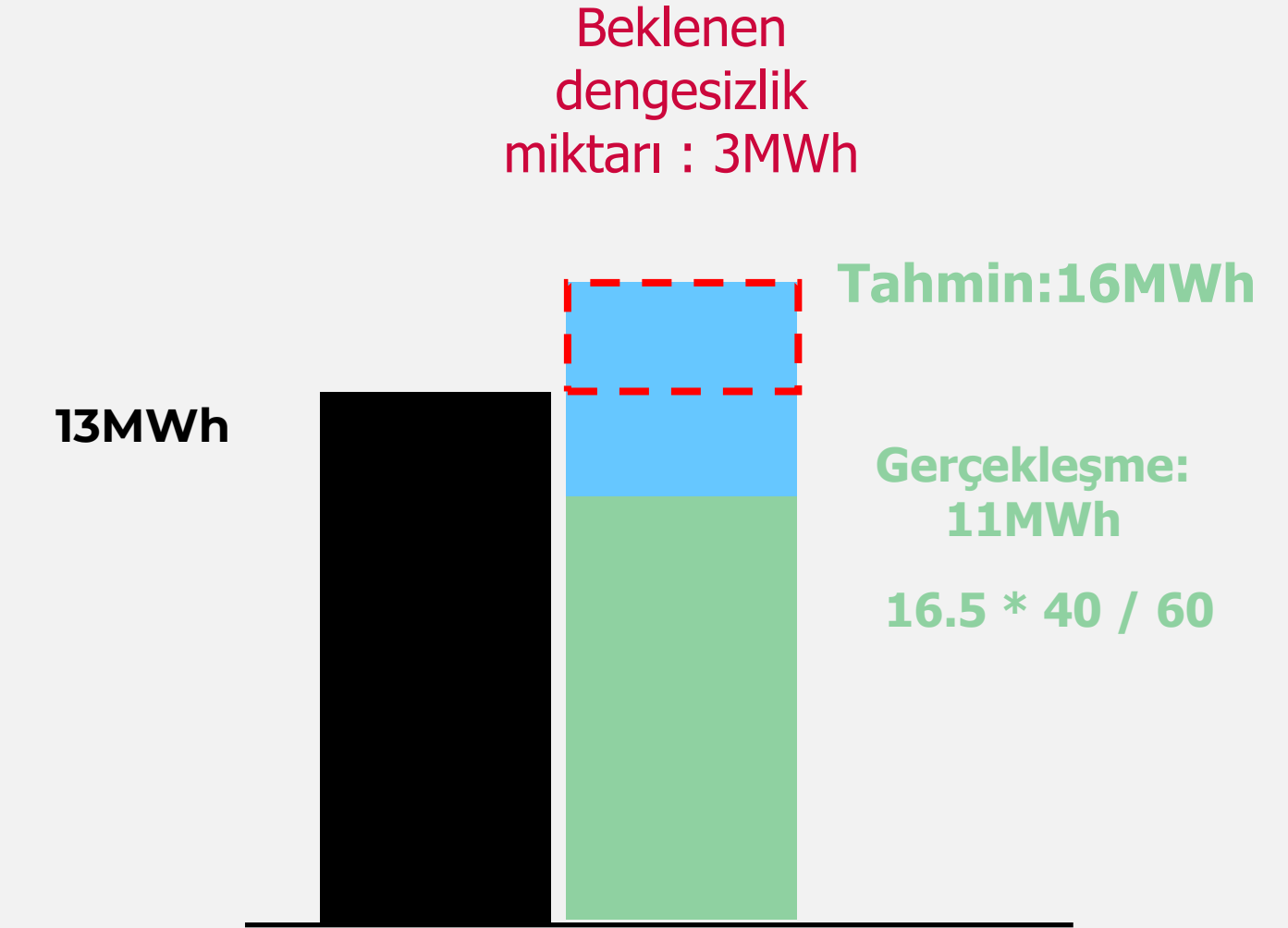
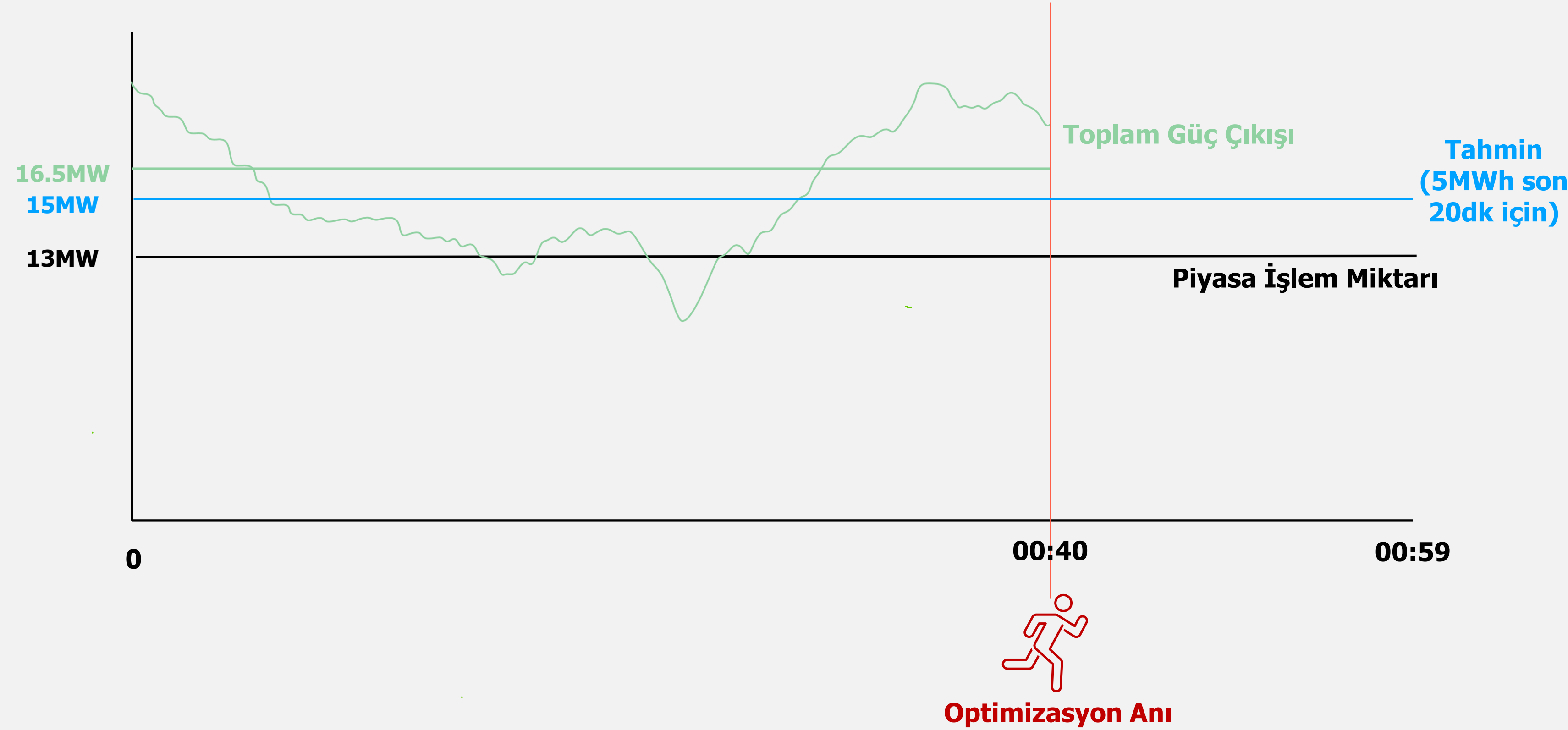


**h**                      **h+1**                      **h+2**                      **h+3**                      **h+4**                      **h+5**

Ticarete kapalı      Ticarete kapalı      Ticarete açık      Ticarete açık      Ticarete açık      Ticarete açık

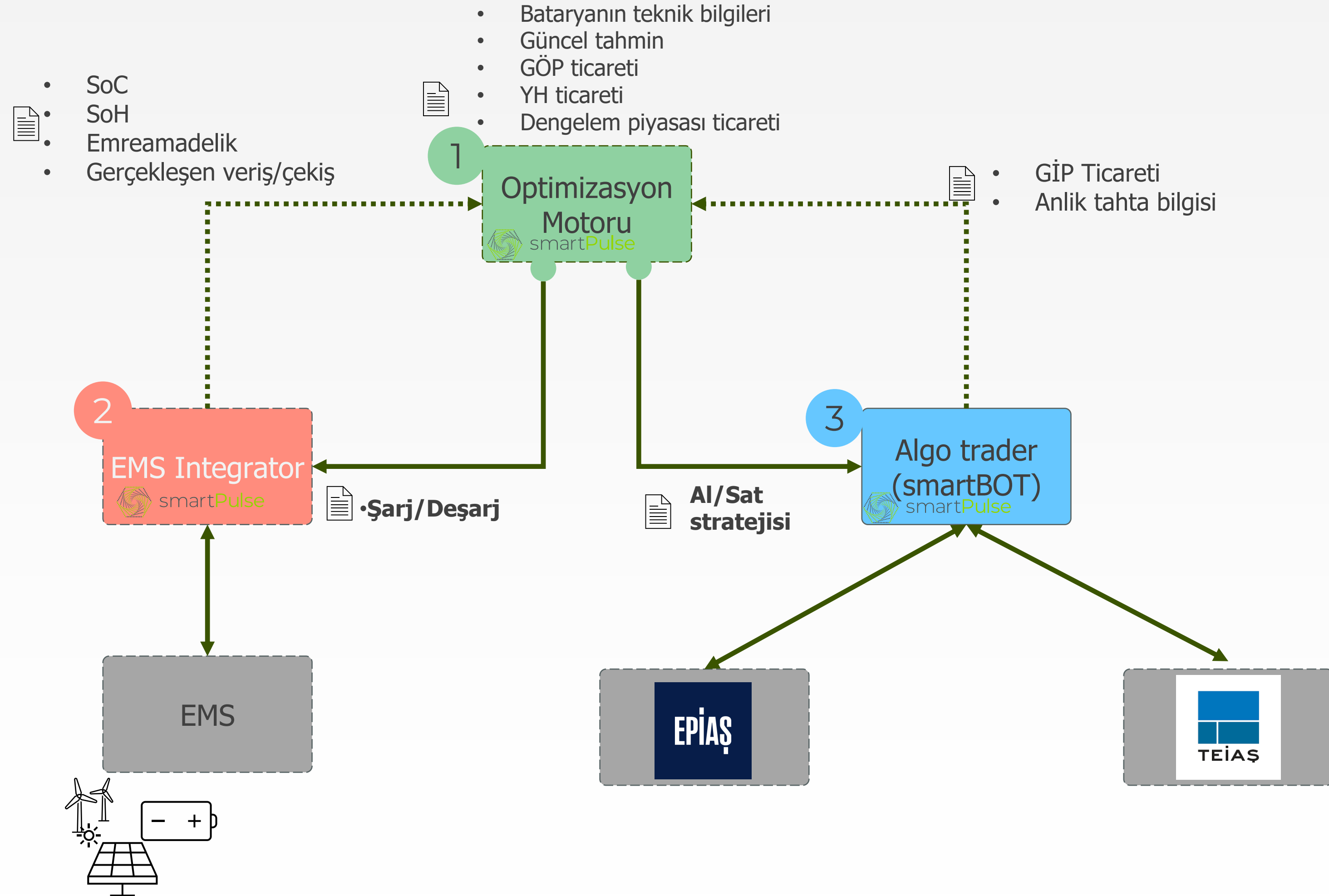
Dengesizlik									
Alım Gideri									
Satış Geliri									
	Σ	+	Σ	+	Σ	+	Σ	+	Σ

# Gerçek Zamanın Dengelenmesi



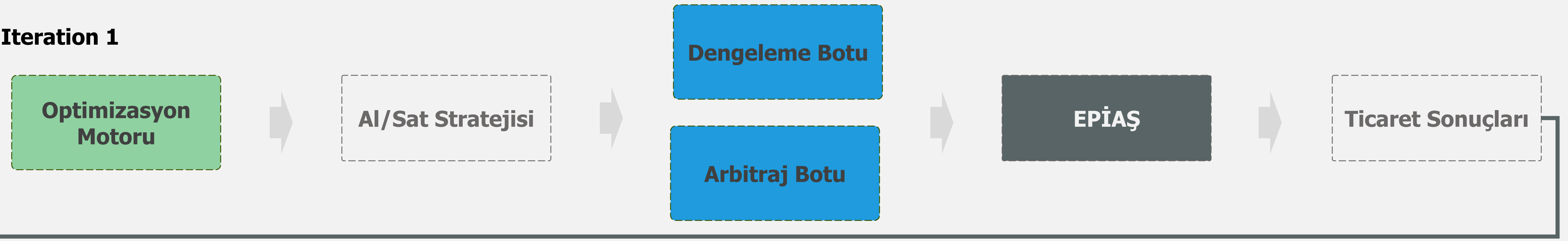
- Ticari manevra imkanı yok sadece batarya ile dengeleme yapılabilir.
- Gerçekleşme bilgileri ile plan yeniden değiştirilir.

# Optimizasyon ve Otomasyon için 3 Bileşen

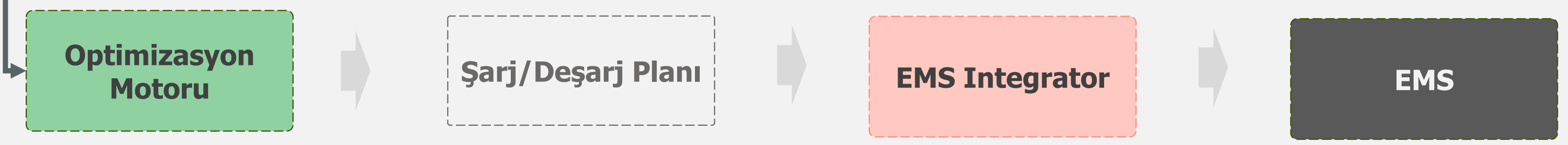


# İterasyonlardaki Adımlar

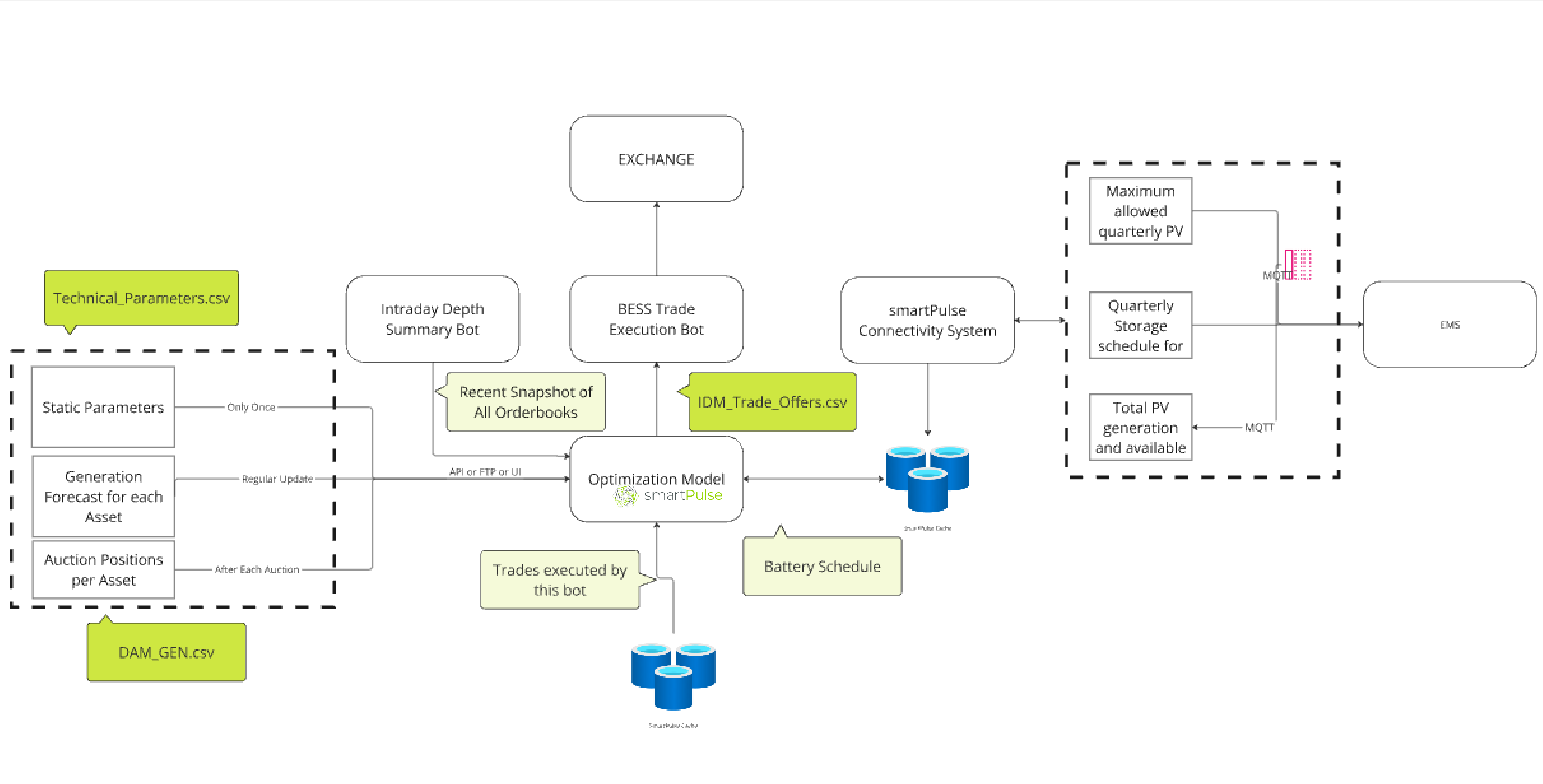
## Iteration 1



## Iteration 2



# Gerçek bir uygulama şeması:



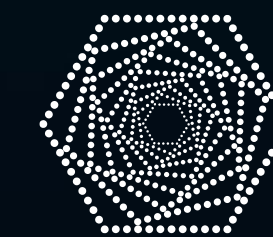
# Sonuç olarak

1. Bataryanın optimizasyonu çok bileşenli bir problemdir.
2. Sürekli ve iteratif çalışmalıdır
3. Sabit girdileri yeniden hesaplamak için arada uzun vadeli Optimizasyon gerekir.
- 4. Otomasyon sürecin ayrılmaz parçası bu sebeple bataryanın ticari işletilmesi için yazılım desteği mecburidir.**



70i aşkın profesyonel ekibi ve Avrupa'nın en büyük enerji borsalarına aynı anda entegre olabilen tek teknoloji şirketi olan smartPulse, 20GW'tan fazla tesise izleme, dengeleme ve ticaret yazılımları sunmaktadır.

**Teşekkürler**



smartPulse