

## Basit bir Dünya Enerji Talebi Modeli Denemesi

Yazıyorum çünkü bu sefer bir araca ihtiyacım var. Son yazılar esnasında farklı kaynakların farklı yıllar konusundaki rakamlarında çok sorun yaşadım. Anlatmayayım. Genelde bu işi Python'da yapıyorum, ama daha basiti mümkün ve atla deve olmayan bir kısmı da var bu işlerin.

Kafa yapımız Ratatuy, türlü, herkes kendi evinde kendi kendine model yapabilir. Ama neyi modellemiş olur o kısım tartışılır.

Benden bir ara Python dersi almış olanlar bilirler. Derse doğrudan petrol fiyat modeli yaptırarak başladım. Tabii derslerin daha sonra devamı gelmedi, kaçan kaçana yani. Aslında çok basit bir yapısı var.

Üretimde iki tip ülke grubu var: OPEC ve OPEC dışı, tüketimde de iki tip ülke var OECD ve OECD dışı. Bunlar farklı dinamikleri temsil ediyor, rakamları ve kalibrasyonu yaparsanız, modelin talep tarafı 2-3 sene %5 altı hata ile çalışabilir. Ama fiyat kısmı yalan tabii ki. Sadece gösterme amaçlı. Modeli merak edenler için web de var<sup>1</sup>. Örnek:

```
if petrol_fiyati<60:
    opec_uretim=opec_uretim-0.3 # eğer 60 $'ın altında petrol fiyatı var ise OPEC üretimi 0.3 mv/g düşer
    nopec_uretim=nopec_uretim-0.5

    oecd_tuketim=oecd_tuketim+0.01
    noecd_tuketim=noecd_tuketim+0.4
```

Şimdi ise petrol 60\$/v'in üzerinde ise üretim ve tüketimin nasıl değişeceğini yazalım

- OPEC ve nOPEC üretimi artar. nOPEC'in ki daha çok artar (ABD üretimi daha hızlı devreye girecektir)
- OECD tüketimi az, gelişmekte olan ülkelerin talebi ise daha büyük bir hareket yapacaktır

```
if petrol_fiyati>60:
    opec_uretim=opec_uretim+0.3
    nopec_uretim=nopec_uretim+0.5

    oecd_tuketim=oecd_tuketim-0.01
    noecd_tuketim=noecd_tuketim-0.4
```

Fakat bu sefer Python yok, sadece Excel ile çok dandik bir dünya enerji modeli denemesi var. Her zaman olduğu gibi malzemelerimiz ile başlıyoruz. Eski BP veya mülga BP Enerji İstatistikleri, şimdilerde Energy Institute Statistical Review of the World oldu<sup>2</sup>.

Bir sürü veri var, bölgeler vs. Önce indirdiğim veri dosyasındaki benim işime yarayacağını düşündüğüm

- Birincil Enerji
- CO2 Emisyonları
- Petrol ve ürünleri (Total liquids, ham petrol ardı diğer ürünler mesela biyoyakıtlar)
- Gaz Tüketimi
- LNG ihracatı
- Kömür Üretimi (Tüketimi yok ama çok büyük büyük stok değişimleri enderdir)

<sup>1</sup> <http://barissanli.com/python/dersgirisi1.php>

<sup>2</sup> <https://www.energyinst.org/statistical-review/resources-and-data-downloads>

- Elektrik Üretimi ve alt kalemleri yenilenebilir, güneş, rüzgar elektrik üretimi
- Kişi başı enerji tüketimi
- Nüfus (hesaplıyoruz, Birincil Enerji/Kişi başı enerji tüketimi)

kısımlarını aldım.

Tüm bu sekmelerdeki “Total World” toplam dünya satırlarını alt alta yazdım, grafiklerken baş ağrıttı ama bilmem gerekir diye birimleri de en başa aldım. Bazı veri satırları 1965’ten başlamıyordu, LNG, elektrik üretimi, rüzgar, güneş vs gibi. Onları kaydırmak zorunda kaldım.

Şöyle birşeye dönüştü(kb/d 1000 varil/gün demek):

|           |                       | 2019        | 2020        | 2021        | 2022        | 2022  | 2012-22 |
|-----------|-----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------|---------|
| EJ        | Birincil Enerji       | 587,39      | 566,49      | 597,41      | 604,04      | 1,1%  | 1,4%    |
| Mt CO2    | CO2 Emisyonları       | 34044,0     | 32284,9     | 34052,2     | 34374,1     | 0,9%  | 0,6%    |
| kb/d      | Petrol ve ürünleri    | 100776      | 91776       | 97193       | 100255      | 3,2%  | 1,0%    |
| bcm       | Gaz Tüketimi          | 3905,8      | 3860,3      | 4067,1      | 3941,3      | -3,1% | 1,7%    |
| bcm       | LNG ihracatı          | 484,2       | 490,0       | 515,7       | 542,4       | 5,2%  | 5,3%    |
| Mton      | Kömür üretimi         | 8109,2      | 7740,8      | 8159,5      | 8803,4      | 7,9%  | 0,8%    |
| TWh       | Elektrik Üretimi      | 27099,5     | 26986,5     | 28520,2     | 29165,1     | 2,3%  | 2,5%    |
| TWh       | Yenilenebilir Üretimi | 2793,5      | 3151,3      | 3664,6      | 4204,3      | 14,7% | 14,7%   |
| TWh       | Güneş Üretimi         | 705,2       | 854,4       | 1059,3      | 1322,6      | 24,9% | 29,3%   |
| TWh       | Rüzgar Üretimi        | 1420,6      | 1594,0      | 1854,1      | 2104,8      | 13,5% | 14,8%   |
| GJ/capita | GJ/capita             | 75,6        | 72,2        | 75,5        | 75,7        | 0,3%  | 0,3%    |
| milyar    | Nüfus                 | 7,769683019 | 7,846095515 | 7,912665025 | 7,979334925 |       |         |

Şimdi işin teorisine gelem çünkü aslında teoriyi katlettik. Teori şunu der, model önce talebi hesaplar, ona uygun arzı bulur. Kim takar. Ben takmam, ama sorun elektrikte olur. Elektrik talebinden ne kadar doğalgaz kömür ihtiyacı olduğunu bulmak gerekir. Ama bunu da ihmal ediyoruz, Nobel almayacağız, parmak kuralı üretmeye çalışacağız.

Teori şu, enerji sektörü çok sermaye yoğun olduğundan makine parkı hızlı değişmiyor, enerji talebi de gecedten sabaha atlaya atlaya gitmiyor. O yüzden 10 yıllık ortalama büyümeleri kullanmak kötü bir varsayımdır ama sonuçları ile yaşayabileceğimiz bir kötülüktür. Hayat bir trajedi olmasa, doğru-adam gibi modeli yapmak için belki kuantum bilgisayarların icadını beklemeniz gerekir.

Ben de o yüzden önce yıldan yıla büyüme sonra da 10 yıllık ortalamaları çıkarıyorum. Vakit olsa, ki daha sonra benim olacak bu gelişmelerin üzerine kafa yorarak yapabilirim.

|                                     | 2015  | 2016  | 2017  | 2018  | 2019  | 2020  | 2021  | 2022  |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Yıllık Büyüme Oranları</b>       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                                     | 2015  | 2016  | 2017  | 2018  | 2019  | 2020  | 2021  | 2022  |
| Birincil Enerji                     | 0,8%  | 1,2%  | 2,1%  | 2,7%  | 1,1%  | -3,6% | 5,5%  | 1,1%  |
| CO2 Emisyonları                     | 0,0%  | 0,1%  | 1,5%  | 2,1%  | 0,1%  | -5,2% | 5,5%  | 0,9%  |
| Petrol ve ürünleri                  | 2,3%  | 2,0%  | 2,1%  | 1,4%  | 0,4%  | -8,9% | 5,9%  | 3,2%  |
| Gaz Tüketimi                        | 2,4%  | 2,3%  | 2,6%  | 5,0%  | 1,8%  | -1,2% | 5,4%  | -3,1% |
| LNG ihracatı                        | 1,0%  | 6,3%  | 9,8%  | 9,5%  | 12,5% | 1,2%  | 5,3%  | 5,2%  |
| Kömür üretimi                       | -2,8% | -5,9% | 2,9%  | 4,8%  | 0,5%  | -4,5% | 5,4%  | 7,9%  |
| Elektrik Üretimi                    | 1,0%  | 2,6%  | 3,0%  | 4,1%  | 1,3%  | -0,4% | 5,7%  | 2,3%  |
| Yenilenebilir Üretimi               | 16,0% | 13,0% | 18,0% | 14,1% | 12,6% | 12,8% | 16,3% | 14,7% |
| Güneş Üretimi                       | 29,8% | 28,3% | 35,6% | 29,2% | 22,5% | 21,1% | 24,0% | 24,9% |
| Rüzgar Üretimi                      | 17,8% | 15,7% | 18,6% | 11,2% | 11,9% | 12,2% | 16,3% | 13,5% |
| Gİ/capita                           | -0,4% | 0,0%  | 0,9%  | 1,6%  | 0,0%  | -4,5% | 4,6%  | 0,3%  |
| Nüfus                               | 1,2%  | 1,2%  | 1,1%  | 1,1%  | 1,1%  | 1,0%  | 0,8%  | 0,8%  |
|                                     |       |       |       |       |       |       |       |       |
| <b>10 Yıllık Hareketli Ortalama</b> |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                                     | 2015  | 2016  | 2017  | 2018  | 2019  | 2020  | 2021  | 2022  |
| Birincil Enerji                     | 1,8%  | 1,6%  | 1,5%  | 1,7%  | 1,9%  | 1,1%  | 1,4%  | 1,4%  |
| CO2 Emisyonları                     | 1,5%  | 1,2%  | 1,0%  | 1,1%  | 1,4%  | 0,4%  | 0,7%  | 0,7%  |
| Petrol ve ürünleri                  | 1,2%  | 1,2%  | 1,3%  | 1,5%  | 1,7%  | 0,4%  | 0,9%  | 1,1%  |
| Gaz Tüketimi                        | 2,4%  | 2,4%  | 2,2%  | 2,5%  | 2,9%  | 2,0%  | 2,3%  | 1,8%  |
| LNG ihracatı                        | 5,8%  | 5,3%  | 5,5%  | 6,4%  | 7,0%  | 5,0%  | 4,7%  | 5,3%  |
| Kömür üretimi                       | 2,7%  | 1,6%  | 1,5%  | 1,6%  | 1,5%  | 0,4%  | 0,3%  | 0,8%  |
| Elektrik Üretimi                    | 2,8%  | 2,7%  | 2,5%  | 2,7%  | 3,0%  | 2,3%  | 2,5%  | 2,5%  |
| Yenilenebilir Üretimi               | 16,2% | 16,2% | 16,5% | 16,3% | 16,0% | 15,3% | 15,0% | 14,8% |
| Güneş Üretimi                       | 51,9% | 51,0% | 51,0% | 47,7% | 43,3% | 39,4% | 32,4% | 29,4% |
| Rüzgar Üretimi                      | 23,2% | 22,0% | 21,0% | 19,2% | 17,9% | 16,6% | 15,5% | 14,8% |
| Gİ/capita                           | 0,5%  | 0,4%  | 0,3%  | 0,4%  | 0,7%  | -0,1% | 0,3%  | 0,3%  |
| Nüfus                               | 1,3%  | 1,2%  | 1,2%  | 1,2%  | 1,2%  | 1,2%  | 1,1%  | 1,1%  |

Veri analizinin daima birinci yöntemi, grafik çıkarmadır. Grafik çıkarırken çok ilginç bir şey oldu. 1979 petrol krizi sonrası Batı ülkelerinde yenilenebilir politikaları sıfırdan yükseldiği için güneş ve rüzgar elektrik üretimlerinin artış hızı bugünden yüksek çıktı, onu da düzeltmek zorunda kaldım tabii. Modelleme işinin 2/3'ü veri işleme.

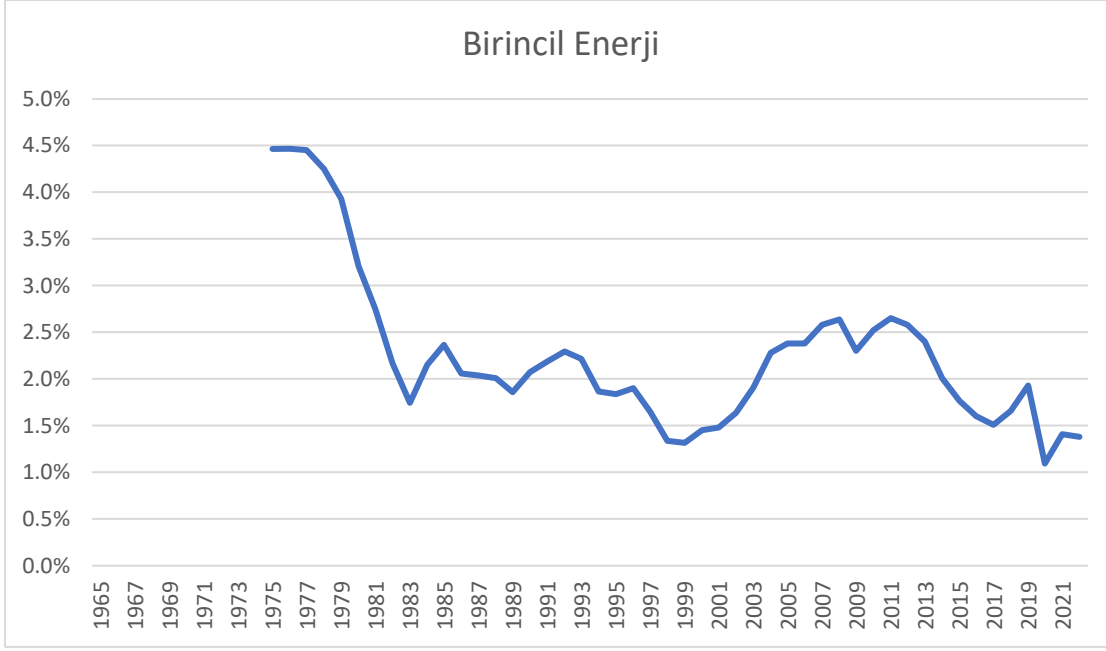
Örneğin en basiti nüfus. Nüfus artışı 5 yılda 1, %0.1 düşmüş. En son rakam %1.1 . Nüfus deyip geçmemek lazım, enerji talebinin ana belirleyicisi, Global Carbon Project'in Kaya decomposition slaytlarına mutlaka bakın<sup>3</sup>.

Mesela birincil enerji yani kömür, doğalgaz, kömür hepsinin toplamına bakalım. Şöyle bakınca (Excel'de birçok başka araç var, trend vs de kullanabilirsiniz), yüksek büyüme dönemlerinde %2.5, düşük büyüme dönemlerindeki, bunlar kısa sürmüş %1.5 artış olmuş. Zaten ekonomik olarak sıfır büyüme ortamında bile nüfus artışından enerji talebi artar.

Göz kararı bakıyorum, normalde bir konferans bildirisinde detaylarını anlatıyorum<sup>4</sup>. Birincil enerji talebinin/arzının 30 yılda %0.5 düşmüş diyelim.

<sup>3</sup> <https://globalcarbonbudget.org/carbonbudget2023/>

<sup>4</sup> <http://www.barissanli.com/calismalar/2017/20171103-ingas.pdf>



İşte modelimizin ilk versiyonu çıkmış oldu. “Cin Ali” modelinin sadece gövdesini çizdik. İki tane değişkenimiz var.

1. Birincil Enerji arzı artışı, yıldan yıla %0.5/30 hesabına göre, %0.016 azalacak. Bakın artışı azalacak. 2022’yi 604 EJ’dan başlatıyoruz, 2022 yılı büyümesi %1.4’ü alıyoruz. Yıldan yıla %0.016 azaltıyoruz
2. Nüfus artışı da belli, artış oranı 5 yılda %0.1 düşerse, yılda düşüş %0.02 düşüş oranı uygun. Normalde nüfus projeksiyonları BM sitesinden erişilebilir. Eğer bir kestirim daha güvenilir bir kaynak tarafından yapıldıysa oradan alın.

Bunları bir araya koyup, renklendirip ardından da yılları 10’ar 10’ar gruplandırdıktan sonra bir hesap daha yapabiliriz. O da kişi başı enerji talebi.

|             |                         | 2015  | 2020  | 2021  | 2022  | 2023  | 2024  | 2025  | 2030  | 2040  | 2050  |
|-------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| EJ          | Birincil Enerji         | 547,4 | 566,5 | 597,4 | 604,0 | 612,3 | 620,8 | 629,3 | 673,5 | 770,6 | 880,2 |
| Milyar kişi | Nüfus                   | 7,4   | 7,8   | 7,9   | 8,0   | 8,1   | 8,1   | 8,2   | 8,6   | 9,4   | 10,0  |
| GJ/kişi     | Kişi başı enerji talebi | 73,7  | 72,2  | 75,5  | 75,7  | 75,9  | 76,2  | 76,4  | 78,0  | 82,3  | 88,4  |
|             | <b>Büyüme Oranları</b>  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| EJ          | Birincil Enerji         | 1,8%  | 1,1%  | 1,4%  | 1,4%  | 1,4%  | 1,4%  | 1,4%  | 1,4%  | 1,3%  | 1,3%  |
| Milyar kişi | Nüfus                   | 1,3%  | 1,2%  | 1,1%  | 1,1%  | 1,1%  | 1,0%  | 1,0%  | 0,9%  | 0,7%  | 0,5%  |

Aynı şekilde, “referans senaryo” olarak, sistemin geçmiş yıllardaki değişim hızını koruyacağını düşünürsek şu varsayımlar yapılabilir.

- Kömür üretiminde %1'lere yaklaşan büyüme var, fakat hızlı düşüyor. Trende bakılırsa 5 yılda %0.7 düşüyor. Dolayısıyla yılda %0.14 düşüş öngörebiliriz.
- Gaz talebi ise %2 devam etse bir büyük sorun olmaz, bugün için. Fakat model 30 yılda 35 katına çıkar. Bu sebeple bunu da 10 yılda %0.5 puan düşürelim. Yani yılda %0,05.
- Petrol talebinde ise Covid yıllarını atarsak %1.1-1.2 kötü bir yakınsama sayılmaz. Fakat enerji dönüşümünden onu da yavaşlatmamız gerekiyor. Yıldan yıla %0.1 düşürelim.
- Elektrik talebi %2-%3 arası artıyor. Bence elektrik talebi hızlanacaktır, onu da %3 öngörelim.

Geri kalanını da nükleer, yenilenebilir görebiliriz.

Modelimizin ikinci sürümü ise bu şekilde olabilir.

|                        |                         | 2015    | 2020    | 2021    | 2022     | 2023     | 2024     | 2025     | 2030     | 2040     | 2050    |
|------------------------|-------------------------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|
| EJ                     | Birincil Enerji         | 547,4   | 566,5   | 597,4   | 604,0    | 612,3    | 620,8    | 629,3    | 673,5    | 770,6    | 880,2   |
| Milyar kişi            | Nüfus                   | 7,4     | 7,8     | 7,9     | 8,0      | 8,1      | 8,1      | 8,2      | 8,6      | 9,4      | 10,0    |
| GJ/kişi                | Kişi başı enerji talebi | 73,7    | 72,2    | 75,5    | 75,7     | 75,9     | 76,2     | 76,4     | 78,0     | 82,3     | 88,4    |
| mt                     | Kömür talebi            | 7950,0  | 7740,8  | 8159,5  | 8803,4   | 8863,0   | 8910,7   | 8946,1   | 8936,0   | 8022,0   | 6244,9  |
| bcm                    | Gaz talebi              | 3478,8  | 3860,3  | 4067,1  | 3941,3   | 4020,1   | 4098,5   | 4176,4   | 4554,8   | 5221,3   | 5696,5  |
| kb/d                   | Petrol talebi           | 95055,4 | 91776,3 | 97192,8 | 100254,6 | 101240,4 | 102134,7 | 102934,7 | 105445,8 | 102662,9 | 90371,6 |
| TWh                    | Elektrik talebi         | 24308,6 | 26986,5 | 28520,2 | 29165,1  | 30040,1  | 30941,3  | 31869,5  | 36945,5  | 49651,6  | 66727,6 |
| <b>Büyüme Oranları</b> |                         |         |         |         |          |          |          |          |          |          |         |
| %                      | Birincil Enerji         | 1,8%    | 1,1%    | 1,4%    | 1,4%     | 1,4%     | 1,4%     | 1,4%     | 1,4%     | 1,3%     | 1,3%    |
| %                      | Nüfus                   | 1,3%    | 1,2%    | 1,1%    | 1,1%     | 1,1%     | 1,0%     | 1,0%     | 0,9%     | 0,7%     | 0,5%    |
| %                      | Kömür talebi            | 2,7%    | 0,4%    | 0,3%    | 0,8%     | 0,7%     | 0,5%     | 0,4%     | -0,3%    | -1,7%    | -3,1%   |
| %                      | Gaz talebi              | 2,4%    | 2,0%    | 2,3%    | 1,8%     | 2,0%     | 2,0%     | 1,9%     | 1,7%     | 1,2%     | 0,6%    |
| %                      | Petrol talebi           | 1,2%    | 0,4%    | 0,9%    | 1,1%     | 1,0%     | 0,9%     | 0,8%     | 0,3%     | -0,7%    | -1,7%   |
| %                      | Elektrik talebi         | 2,8%    | 2,3%    | 2,5%    | 2,5%     | 3,0%     | 3,0%     | 3,0%     | 3,0%     | 3,0%     | 3,0%    |

Excel kullanan arkadaşlar, bu büyümedeki düşüşleri başka şekilde formüle edebilir. Geçen yazıda dönüşüm faktörlerini vermiştik, oradan EJ'a dönüp nihai grafikler de çıkabilir.

Şimdi modelcilerin az bir kısmı kendilerini ayrı varlıklar gördüklerinden bu yaptığım çok ayıp bir şey, konuyu hiç anlamadığımı gösterir. Ama ölçebilmeniz ve etkileri başkasına muhtaç olmadan anlayabilmek için basit bir araç.

Kabulleri unutmayalım, enerji sistemi çok hızlı dönüşemiyor. O yüzden yenilenebilirin girişini ayrı modellemek gerekir. Politika etkisi ile hızlandırılmış bir giriş modellenebilir. Fakat sorun şu, sistem buna alışık değil. Alışacaaaak diyorsanız, evet umutlar o şekilde.

Model dosyası burada: <http://barissanli.com/calismalar/2023/20231219-model.xlsx>