

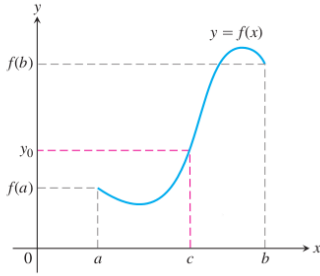
## Calculus'un Temel Teoremi (The Fundamental Theorem of Calculus)

Ana teoriyi ispatlamadan önce iki diğer teoriden bahsetmemiz, ispatlamamız lazım. Bu teorilerden biri Gecis Degeri Teorisi (Intermediate Value Theorem) diğeri Tanımlı Entegraller İçin Ortalama Deger Teoremi (Mean Value Theorem for Definite Integrals). Gecis Degeri Teorisi basitçe şunu söyler

### Teori

$[a, b]$  aralığında sürekli bir fonksiyon  $y = f(x)$ ,  $f(a)$  ve  $f(b)$  arasındaki her değeri muhakkak alır. Bir diğer deyişle, eğer  $y_0$ ,  $f(a)$  ve  $f(b)$  arasındaki bir değer ise  $[a, b]$  aralığındaki bir  $c$  için muhakkak  $y_0 = f(c)$  olmalıdır.

Geometrik olarak bu teori  $y$  eksenini  $f(a)$  ve  $f(b)$  arasında kesen  $y = y_0$  yatay çizgisinin  $y = f(x)$  fonksiyonunu muhakkak, en az bir kez kesiğedir. Grafik altta.



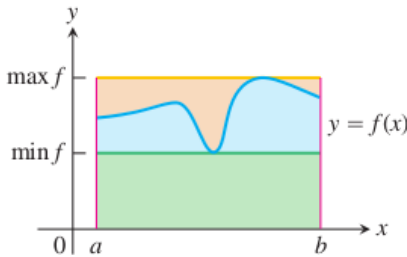
Sezgisel olarak bu anlamlı değil mi? Eğer sürekli bir fonksiyon var ise,  $f(a)$ 'dan  $f(b)$ 'ye giderken o aralıktaki her sayıya bir kez “ugramaya” mecburuz. Etraflarından dolasmamız mümkün değil, çünkü kesintili bir fonksiyon değil, kesintisiz / sürekli bir fonksiyonumuz var. Bu teoremin daha detaylı ispatı için [4]'e bakabilirsiniz.

### Maks-Min Esitsizliği

Eğer  $[a, b]$  aralığında  $f$ , maksimum değer  $\max f$ 'e ve minimum değer  $\min f$ 'e sahipse,

$$\min f \cdot (b - a) \leq \int_a^b f(x) dx \leq \max f \cdot (b - a)$$

demektir.



Bu kural diyor ki  $f$ 'in  $[a, b]$  üzerindeki integrali hiçbir zaman  $f$ 'in minimum'u carpi  $[a, b]$  aralığının uzunluğundan küçük olamaz, ve  $f$ 'in maksimumu carpi  $[a, b]$  aralığ-

inin uzunlugu'ndan buyuk olamaz.

Ispat

Eger  $(b - a)$ 'yi  $\sum_{k=1}^n \Delta x_k$  olarak gorursek

$$\min f \cdot (b - a) = \min f \cdot \sum_{k=1}^n \Delta x_k$$

$$= \sum_{k=1}^n \min f \cdot \Delta x_k$$

$[a, b]$  araligindaki herhangi bir deger  $c_k$  icin

$$\leq \sum_{k=1}^n f(c_k) \cdot \Delta x_k$$

Oyle degil mi?  $\min f$  degeri en kucuk deger ise,  $[a, b]$  araligindaki herhangi bir nokta  $c_k$ 'nin  $f$  degeri bu degere ya esit, ya da ondan buyuktur. Yani  $\min f \leq f(c_k)$ . Devam edersek

$$\leq \sum_{k=1}^n \max f \cdot \Delta x_k$$

Ustteki benzer mantigi takip ediyor, bu sefer  $f(c_k) \leq \max f$ . Son ifadedeki  $\max$ 'i disari alabiliriz.

$$= \max f \sum_{k=1}^n \Delta x_k$$

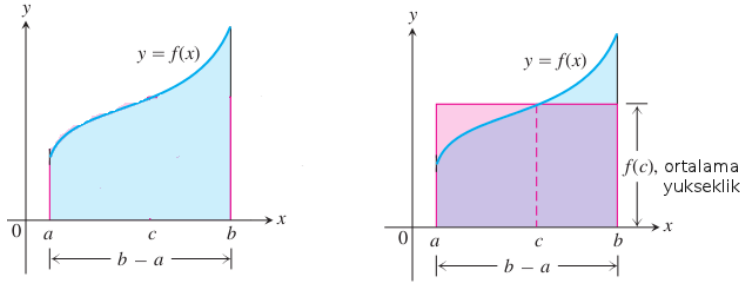
$$= \max f (b - a)$$

Ortalama Deger Teoremi

Eger  $f$  fonksiyonu  $[a, b]$  arasinda surekli ise o zaman  $[a, b]$  araliginda olan bir  $c$  noktasinda

$$f(c) = \frac{1}{b - a} \int_a^b f(x) dx$$

esitligi dogru olmalidir. Yani alttaki resimde sol grafikteki mavi alanin  $b - a$  ile bolunerek elde edilen ortalama degeri,  $[a, b]$  araligindaki bir  $c$  uzerinden  $f(c)$ 'ye muhakkak esittir. Ya da bir kenari  $f(c)$ , digeri  $b - a$  olan bir dikdortgenin alanini (alt sagdaki resim), mavi alanin tamamina esit olacaktir.



Maks-Min Esitsizliginin iki tarafını  $b - a$ 'ya bölersek

$$\min f \leq \frac{1}{b-a} \int_a^b f(x) dx \leq \max f$$

elde ederiz. Eger Gecis Degeri Teorisi dogruysa,  $\min f$  ve  $\max f$  arasindaki tum noktalar ziyaret edilmelidir. O zaman böyle bir  $f(c)$  kesinlikle var demektir.

Calculus'un Temel Teoremi

Teori

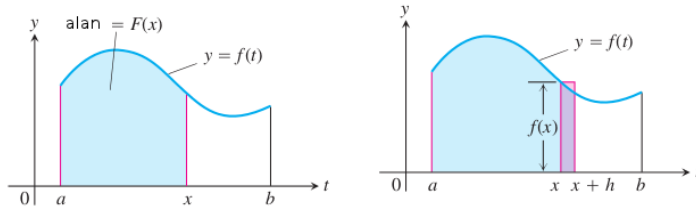
Eger  $f$  fonksiyonu  $[a, b]$  arasında sürekli ise o zaman

$$F(x) = \int_a^x f(t) dt$$

fonksiyonu da  $[a, b]$  arasında sürekli, ve bu fonksiyonun türevi  $f(x)$ 'in kendisidir.

Yani

$$F'(x) = \frac{d}{dx} \int_a^x f(t) dt = f(x)$$



İspat

Türevin tanımını direk  $F(x)$  üzerinde uygulayalım,  $[a, b]$  içinde olan  $x$  ve  $x + h$  aralığını alalım, ve

$$\frac{F(x+h) - F(x)}{h}$$

bolumunun limitinin,  $h \rightarrow 0$  iken,  $f(x)$ 'e gittigini gostermeye calisalim.  $F(x+h)$  ve  $F(x)$  fonksiyonlarini entegralleri üzerinden tanımlayalım. O zaman üstteki formülün bolum kısmı

$$F(x+h) - F(x) = \int_a^{x+h} f(t) dt - \int_a^x f(t) dt$$

Entegrallerin toplam kuralına göre üstteki formülün sağ tarafı

$$\int_x^{x+h} f(t)dt$$

ifadesidir. O zaman bolumun tamamı

$$\frac{F(x+h) - F(x)}{h} = \frac{1}{h} \int_x^{x+h} f(t)dt$$

Ortalama Deger Teoremine göre, üstteki esitligin sagindaki ifadenin,  $x$  ve  $x+h$  araliginde  $f$ 'in aldigi degerlerden birine aynen esit oldugunu biliyoruz. Yani o aralıktaki bir  $c$  için

$$\frac{1}{h} \int_x^{x+h} f(t)dt = f(c)$$

kesinlikle dogru olmalı. Simdi,  $h \rightarrow 0$  oldukca,  $x+h$  mecburen  $x$ 'e yaklasmak zorunda kalacaktır, cunku  $c$ ,  $x$  ile  $x+h$  arasinda sıkışıp kalmistir.  $f$  fonksiyonu  $x$  noktasinda surekli olduguna gore, o zaman  $f(c)$ ,  $f(x)$ 'e yaklasmalıdır.

$$\lim_{h \rightarrow 0} f(c) = f(x)$$

Simdi elimizdeki bu bilgiyle basa donersek,

$$\begin{aligned} \frac{dF}{dx} &= \lim_{h \rightarrow 0} \frac{F(x+h) - F(x)}{h} \\ &= \lim_{h \rightarrow 0} \frac{1}{h} \int_x^{x+h} f(t)dt \\ &= \lim_{h \rightarrow 0} f(c) \\ &= f(x) \end{aligned}$$

Kaynaklar

- [1] Thomas Calculus 11. Baski, sf. 130
- [2] Thomas Calculus 11. Baski, sf. 347
- [3] Thomas Calculus 11. Baski, sf. 358
- [4] Thomas Calculus 11. Baski, sf. 257