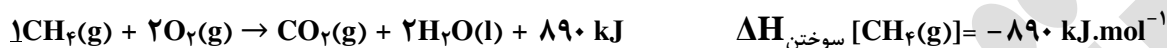


## آنتالپی سوختن ( $\Delta H$ سوختن)

مقدار گرمای آزاد شده به هنگام سوختن یک مول ماده در مقدار کافی اکسیژن خالص را آنتالپی سوختن می گویند.

یکای آنتالپی سوختن، بر حسب کیلوژول بر مول ( $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) است.

مبنای موازنه، یک مول از ماده مورد نظر است و بقیه بر مبنای آن موازنه می شوند. مثال:

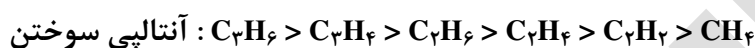


ترجمه واکنش بالا: وقتی یک مول متان یعنی ۱۶ گرم متان به طور کامل در اکسیژن پسوزد، ۸۹۰kJ گرما تولید می شود.

آنتالپی سوختن مواد، همواره منفی است.

در میان هیدروکربن ها، هر چه مقدار هیدروکربن بر حسب گرم بیشتر باشد، آنتالپی سوختن آن نیز بیشتر (منفی تر) خواهد بود (هر چه جرم یک نمونه هیدروکربن بیشتر باشد، از سوختن آن گرمای بیشتری آزاد خواهد شد).

◎ مقایسه آنتالپی سوختن هیدروکربن ها:



آنتالپی سوختن

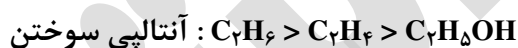
در مورد الکل ها نیز مانند هیدروکربن ها، هر چه شمار اتم های کربن بیشتر باشد، جرم مولی الکل مربوطه بیشتر بوده و در نتیجه آنتالپی سوختن، بزرگ تر (منفی تر) خواهد بود.



آنتالپی سوختن

در صورت برابر بودن تعداد اتم های کربن، آنتالپی سوختن آلکان و آلکن نسبت به آنتالپی سوختن الکل هم کربن خود، بزرگ تر (منفی تر) است.

آلکین > الکل > آلکن > آلکان : آنتالپی سوختن (به شرط کربن برابر)



آنتالپی سوختن



آنتالپی سوختن

نکته: به هنگام سوختن الکل ها، مقداری از گرمای آزاد شده، صرف شکستن پیوند O-H می گردد. بنابراین از مقدار گرمای آزاد شده کاسته می شود.

## ارزش سوختی

به مقدار انرژی که بر اثر سوختن یا اکسایش یک گرم ماده آزاد می شود، ارزش سوختی گفته می شود.

یکای ارزش سوختی کیلوژول بر گرم ( $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ ) و یا کیلوکالری بر گرم ( $\text{kcal} \cdot \text{g}^{-1}$ ) است. ( $1 \text{ kcal} = 4/2 \text{ kJ}$ )

چنانچه آنتالپی سوختن یک ماده را در اختیار داشته باشیم، برای تعیین ارزش سوختی (بر حسب  $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ ) آن از رابطه زیر استفاده می کنیم:

$$\text{ارزش سوختی (kJ} \cdot \text{g}^{-1}\text{)} = \frac{\text{آنتالپی سوختن (kJ} \cdot \text{mol}^{-1}\text{)}}{\text{جرم مولی (g} \cdot \text{mol}^{-1}\text{)}}$$

با اینکه همه واکنش های سوختن گرماده هستند، اما ارزش سوختی مواد، بدون علامت منفی گزارش می شود.

در مقایسه ارزش سوختی هیدروکربن ها (یعنی گرمای حاصل از سوختن یک گرم از هیدروکربن ها)، ابتدا به شمار اتم های کربن در فرمول شیمیایی آن ها توجه می کنیم:

بدین ترتیب که هرچه شمار اتم های کربن در فرمول مولکولی کمتر باشد، گرمای حاصل از سوختن یک گرم از هیدروکربن مورد نظر (یعنی ارزش سوختی آن) بیشتر است.

اگر شمار اتم های کربن در هیدروکربن ها یکسان بود، به نوع هیدروکربن ها توجه می کنیم:

بدین ترتیب که با تعداد اتم های کربن برابر، ارزش سوختی آلکان از آلکن، و آلکن از آلکین بیشتر است.

ترتیب گرمای حاصل از سوختن یک گرم (ارزش سوختی):  $\text{CH}_4 > \text{C}_2\text{H}_6 > \text{C}_2\text{H}_4 > \text{C}_2\text{H}_2 > \text{C}_2\text{H}_6 > \text{C}_2\text{H}_4$

ارزش سوختی الکل ها از ارزش سوختی کلیه هیدروکربن ها به میزان قابل توجهی کمتر است.

ارزش سوختی (گرمای حاصل از سوختن یک گرم):  $\text{CH}_3\text{OH} < \text{CH}_4$

ارزش سوختی (گرمای حاصل از سوختن یک گرم):  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} < \text{C}_2\text{H}_6$

در الکل ها بر خلاف هیدروکربن ها، هرچه شمار اتم های کربن در فرمول مولکولی، بیشتر باشد، ارزش سوختی نیز بیشتر است.

ارزش سوختی (گرمای حاصل از سوختن یک گرم):  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} > \text{CH}_3\text{OH}$

در میان مواد آلی مطرح شده در کتاب درسی، متان ( $\text{CH}_4$ ) دارای بزرگ ترین ارزش سوختی و متانول ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) دارای کوچک ترین ارزش سوختی است.

## آنتالپی سوختن، تکیه گاهی برای تأمین انرژی

- ✓ کباب کردن انواع گوشت، نمونه ای کاربردی و خوشایند از ترموشیمی به ویژه آنتالپی سوختن در زندگی است.
- ✓ انرژی لازم برای پختن گوشت در فرایند کباب کردن، از سوختن زغال یا گاز شهری فراهم می شود و از سوی دیگر خوردن کباب، مواد و انرژی لازم برای انجام فعالیت های بدن را تأمین می کند.
- این دیدگاه شیمیایی در تهیه غذا کمک می کند تا افزون بر درک و تعیین آنتالپی واکنش سوختن مواد، به ارزش غذایی انواع خوراکی ها نیز توجه شود.
- ✓ بدن ما از غذا، مواد گوناگونی دریافت می کند.

- ← این مواد شامل کربوهیدرات ها، چربی ها، پروتئین ها، آب، ویتامین ها و مواد معدنی بوده که سه ماده نخست افزون بر تأمین مواد اولیه برای سوخت و ساز یاخته ها، منابعی برای تأمین انرژی آنها نیز هستند.
- ← در این میان تنها کربوهیدرات ها هستند که در بدن به گلوکز ( $C_6H_{12}O_6$ ) شکسته شده و گلوکز حاصل از آنها در خون حل می شود.
- ← خون، این ماده (گلوکز) را به یاخته ها می رساند (گلوکز، قندخون است) و این ماده هنگام اکسایش در یاخته ها، انرژی تولید می کند؛ این روند به آسانی انرژی مورد نیاز یاخته ها را تأمین می کند.

اما پرسش این است که چرا بدن ما، چربی را بیشتر ذخیره می کند؟

- ✓ پژوهش ها نشان می دهد که چربی ارزش سوختی بیشتری از کربوهیدرات ها و پروتئین ها نیز دارد.
- ← به دیگر سخن انرژی حاصل از اکسایش یک گرم چربی بیشتر از دو ماده غذایی دیگر است.
- ✓ جدول زیر ارزش سوختی سه ماده غذایی را نشان می دهد:

ماده غذایی	کربوهیدرات	چربی	پروتئین
ارزش سوختی ( $kJ.g^{-1}$ )	۱۷	۳۸	۱۷

بیش از ۲ برابر

کربوهیدرات = پروتئین > چربی : ارزش سوختی

توجه: ارزش سوختی به ازای اکسایش یک گرم ماده تعریف می شود.

- ✓ حاشیه کتاب درسی؛ با اینکه همه واکنش های سوختن گرماده است؛ اما ارزش سوختی در منابع علمی بدون علامت منفی گزارش شده است.

- ✓ با این الگو (طبق جدول بالا) می توان مقدار انرژی ای که با مصرف مقدار معینی از هر غذا به بدن می رسد را حساب کرد. برای این کار می توان از جدول هایی همانند جدول زیر که در منابع علمی معتبر موجود است، استفاده کرد.
- ✓ جدول زیر ارزش سوختی برخی خوراکی ها که محتوی کربوهیدرات، چربی و پروتئین هستند را نشان می دهد:

خوراکی	نان	پنیر	تخم مرغ	شکلات	شیر	بادام زمینی
ارزش سوختی ( $kJ.g^{-1}$ )	۱۱/۵	۲۰/۰	۶/۰	۱۸/۰	۳/۰	۲۳

✓ باید توجه داشت که میزان انرژی مورد نیاز بدن هر فرد به وزن، سن و میزان فعالیت های روزانه او بستگی دارد.

✓ هر مقدار اضافی از مواد و انرژی دریافتی از مواد غذایی به طور عمده به شکل چربی در بدن ذخیره شده و باعث چاقی می شود.

✓ آشکار است که تهیه هر غذای گرمی، به انرژی نیاز دارد، انرژی ای که به طور عمده از واکنش سوختن سوخت های فسیلی تأمین می شود.

← یکی از این سوخت ها متان ( $\text{CH}_4$ ) است که بخش عمده گاز شهری را تشکیل می دهد.

← این ماده ( $\text{CH}_4$ ) در حضور اکسیژن کافی به طور کامل می سوزد و افزون بر  $\text{CO}_2(\text{g})$  و  $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$  مقدار زیادی انرژی تولید می کند. ← این ویژگی در واکنش های سوختن باعث شده که سوخت های فسیلی تکیه گاهی برای تأمین انرژی در صنعت، کشاورزی و زندگی روزانه باشند.

✓ شیمی دان ها بر اساس این واکنش ها (واکنش های سوختن)، آنتالپی سوختن یک ماده را هم ارز با آنتالپی واکنشی می دانند که در آن یک مول ماده در اکسیژن کافی به طور کامل می سوزد.

✓ جدول زیر آنتالپی سوختن برخی ترکیب های آلی را در  $25^\circ\text{C}$  نشان می دهد:

ماده آلی	آنتالپی سوختن ( $\text{kJ mol}^{-1}$ )	ماده آلی	آنتالپی سوختن ( $\text{kJ mol}^{-1}$ )
$\text{CH}_4(\text{g})$	-۸۹۰	$\text{C}_2\text{H}_2(\text{g})$	-۱۳۰۰
$\text{C}_2\text{H}_6(\text{g})$	-۱۵۶۰	$\text{C}_2\text{H}_4(\text{g})$	-۱۹۳۸
$\text{C}_2\text{H}_4(\text{g})$	-۱۴۱۰	$\text{CH}_3\text{OH}(\text{l})$	-۷۲۶
$\text{C}_3\text{H}_8(\text{g})$	-۲۰۵۸	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l})$	-۱۳۶۸

✓ حاشیه کتاب درسی: یکی از فراورده های سوختن کامل مواد آلی در دمای اتاق،  $\text{H}_2\text{O}$  است که حالت مایع دارد.

## خود را بیازماید

۱- با توجه به جدول بالا، آنتالپی سوختن پروپان ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) و ۱- بوتن ( $\text{C}_4\text{H}_8$ ) را پیش بینی کنید.

پاسخ: ترکیباتی که نسبت به هم همولوگ هستند (در یک واحد  $\text{CH}_2$  با هم اختلاف دارند)، اختلاف آنتالپی سوختن آن ها یکسان است. برای مثال می دانیم  $\text{CH}_4$  با  $\text{C}_2\text{H}_6$  و  $\text{C}_2\text{H}_4$  با  $\text{C}_3\text{H}_8$  در یک واحد  $\text{CH}_2$  اختلاف دارند.

پس اختلاف آنتالپی سوختن  $\text{CH}_4$  با  $\text{C}_2\text{H}_6$  برابر است با اختلاف آنتالپی سوختن  $\text{C}_2\text{H}_6$  با  $\text{C}_3\text{H}_8$ .

$$(\text{C}_3\text{H}_8) - \Delta\text{H}(\text{C}_2\text{H}_6) = \Delta\text{H}(\text{C}_2\text{H}_6) - \Delta\text{H}(\text{CH}_4) \Delta$$

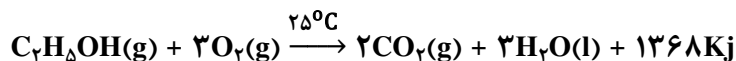
$$x - (-1560) = -1560 - (-890) \rightarrow x = -2230 \text{ kJ}$$

مشابه این اتفاق برای  $\text{C}_2\text{H}_4$  و  $\text{C}_3\text{H}_8$  رخ می دهد:

$$\Delta\text{H}(\text{C}_3\text{H}_8) - \Delta\text{H}(\text{C}_2\text{H}_4) = \Delta\text{H}(\text{C}_2\text{H}_4) - \Delta\text{H}(\text{C}_2\text{H}_6)$$

$$x - (-2058) = -2058 - (-1410) \rightarrow x = -2706 \text{ kJ}$$

۲- با توجه به معادله واکنش سوختن کامل اتان و اتانول به پرسش های مطرح شده پاسخ دهید.



توجه ۱: در شرایط یکسان (به ازای مول های برابر)، برای سوختن اتان نسبت به اتانول، اکسیژن بیشتری مصرف می شود.  
(یک مول اتان برای سوختن به ۳/۵ مول اکسیژن و یک مول اتانول برای سوختن به ۳ مول اکسیژن نیاز دارد).  
توجه ۲: در هر دو واکنش در شرایط یکسان، به ازای مول های برابر از اتان و اتانول، مول های آب تولیدی برابر است.

آ) ارزش سوختی هریک را محاسبه و با یکدیگر مقایسه کنید.  
پاسخ:

$$\Delta H_{\text{آنتالپی سوختن اتان}} = \frac{-3120}{2} = -1560 \text{ kJ.mol}^{-1}$$

$$\rightarrow \text{ارزش سوختن اتان} = \frac{\Delta H_{\text{آنتالپی سوختن}}}{\text{جرم مولی}} = \frac{1560}{30} = 52 \text{ kJ.g}^{-1}$$

$$\Delta H_{\text{آنتالپی سوختن اتانول}} = -1368 \text{ kJ.mol}^{-1}$$

$$\rightarrow \text{ارزش سوختن اتانول} = \frac{\Delta H_{\text{آنتالپی سوختن}}}{\text{جرم مولی}} = \frac{1368}{46} = 29.73 \text{ kJ.g}^{-1}$$

ب) جرم  $CO_2$  حاصل از سوختن یک گرم از هریک را محاسبه و با یکدیگر مقایسه کنید.  
پاسخ:

$$\text{CO}_2 \text{ ی حاصل از ۱g اتان} : \frac{1}{2 \times 30} = \frac{x}{4 \times 44} \rightarrow x = 2/93 \text{ gCO}_2$$

$$\text{CO}_2 \text{ ی حاصل از ۱g اتانول} : \frac{1}{1 \times 46} = \frac{x}{2 \times 44} \rightarrow x = 1/91 \text{ gCO}_2$$

نتیجه: جرم  $CO_2$  ی حاصل از یک گرم اتان بیشتر از یک گرم اتانول است.

پ) توضیح دهید چرا اتانول سوخت سبز به شمار می رود؟

پاسخ: ۱- در سوختن اتانول، آلاینده ها و گازهای گلخانه ای کمتری تولید می شود (به ازای سوختن یک گرم اتانول،  $CO_2$  کمتری تولید می شود).

۲- در سوختن اتانول، اکسیژن کمتری مصرف می شود.

۳- منشاء تهیه ی آن از بقایای گیاهی است.

✓ حاشیه کتاب درسی: سوخت های سبز در ساختار خود افزون بر هیدروژن (H) و کربن (C)، اکسیژن (O) نیز دارند و از

پسماند های گیاهانی مانند سویا، نیشکر و دیگر دانه های روغنی استخراج می شوند.

✓ شکل زیر، ساختار گرماسنج لیوانی را نشان می دهد:

گرماسنج لیوانی دستگاهی است که به کمک آن می توان گرمای واکنش را در فشار ثابت به روش تجربی تعیین کرد. این گرماسنج برای تعیین  $\Delta H$  فرایندهای انحلال و واکنش هایی که در حالت محلول انجام می شوند، مناسب است.

