ارائه شاخص هایی برای ارزیابی تخریب محیط زیست و کمیابی مواد و انرژی

مجتبی سمنانی‌رهبر*[1]، شهام انوشه[2]

چکیده

تأثیر و ارتباط متقابل هر فرآیند صنعتی با محیط زیست اطرافش از دیدگاه بالادستی تحت تأثیر منابع طبیعی مورد استفاده و از دیدگاه پایین دستی تحت تأثیر محصولات جانبی و تخریب ناشی از آن است که علاوه بر تخریب محیط زیست، کمبود مواد اولیه و انرژی‌های تجدیدناپذیر را در بر خواهد داشت. در این مقاله تخریب محیط زیست که در اثر تخلیه جریانات جرمی واحدی صنعتی ایجاد می‌گردد بررسی گردیده و از شاخصهای نرخ اشباع، درجه، فاک تور و توزیع اکولوژیک برای نشان دادن میزان تخریب استفاده شده است. داده‌ها نشان می‌دهند برای واحدهای صنعتی موجود، نرخ اشباع ایدئولوژیک بیش از یک است که بیانگر آلایندگی محیط زیست توسط آنهاست . بعنوان مطالعه موردی تخریب محیط زیست ناشی از فرآیندهای تولید فولاد ا رائه گردیده است. همچنین شاخصی برای کمیابی مواد و انرژی ارائه شده و با توجه به ذخائر مواد اولیه و انرژیهای تجدیدناپذیر فعلی، شاخص کمیابی مواد و انرژی حاصل از ذخایر فسیلی نشان داده شده است. تجزیه و تحلیل اطلاعات نشان می دهد در صورت افزایش قیمت، می‌توان میزان برداشت از منابع فسیلی انرژی را افزایش داد که این امر کاملاً به اقتصاد جهانی و فناوری‌های جدید وابسته است و می‌تواند یک راه برای جلوگیری از کمبود انرژی محسوب گردد.

واژه‌های کلیدی: مواد، تخریب، کمیابی، انرژی، نرخ اشباع اکولوژیک

مقدمه

تولید صنعتی همگام با افزایش و تنوع مصرف درجهان امروز سبب گردیده که از یک طرف به دلیل تخلیه ضایعات صنعتی یا به عبارت دیگر تخلیه محصولات جانبی نامطلوب به محیط زیست سبب تخریب آن شده و از طرف دیگر با صرف مواد اولیه و انرژی موجب کمیابی آنها گردد و بدین لحاظ یکی از محدودیت‌ها ی اکولوژیک، تخریب محیط زیست با ریختن محصولات جانبی و غیرمطلوب فرآیندهای صنعتی به آن است. تخریبی که در اثر این عمل ایجاد می‌شود را می‌توان به سه دسته تقسیم بندی نمود.

۱ - تخریب مستقیم که در اثر ریختن مواد مضر برای سلامتی انسان در آب آشامیدنی، زمین کشاورزی و هوای شهرهای مسکونی ایجاد می‌گردد.

۲ - تخریب غیر مستقیم که در اثر ریختن مواد مضر که تعادل طبیعی محیط زیست انسان را از بین می‌برند و می‌توانند تأثیر منفی بر آن بگذارند حاصل می‌گردد مانند انتشار گازهای آلاینده که اثر گلخانه ای را افزایش می‌دهند، موادی که لایه ازون را تخریب می‌کنند و موادی که گیاهان و مراتع را تخریب می‌کنند و فضای سبز را از بین می‌برند.

۳ - تخریب کیفی طبیعت مانند تخریب شنیداری حاصل از ایجاد سروصدای غیرقابل تحمل، تخریب بویایی در نتیجه ایجاد بوهای نامناسب و غیر قابل تحمل (مشمئزکننده)، تخریب دیداری در اثر وجود کشمکش د ر مناظر و چشم اندازهای پیرامونی.

۱- دانشیار ـ دانشگاه امام حسین (ع) ـ دانشکده علوم و مهندسی ـ گروه مهندسی شیمی

۲- دانشگاه امام حسین (ع) ـ دانشکده علوم و مهندسی ـ گروه مهندسی شیمی

می‌توان با بسط معادلات موازنه جرم و انرژی، معادلاتی برای موازنه تخریب حاصل از تخلیه مواد توسط یک فرآیند صنعتی ارائه کرد و در نهایت برای هر یک از انواع تخریب ها "ضریب تخریب" را تعریف نمود که می تواند معیاری برای ارزیابی میزان تخریب باشد. در موازنه جرم و انرژی محدودهٔ مرزهای سیستمی که موازنه می خواهد در ان اعمال شود نقش تعیین‌کننده‌ای دارد بعنوان مثال بررسی یک نیروگاه حرارتی که از زغال سنگ به عنوان سوخت استفاده می‌کند و در دره‌ای که در آن وزش باد وجود ندارد قرار گرفته کلملاً وابسته به آن است که مرز سیستم در کارخانه، دره، یا کل منطقه در نظر گرفته شود. محدودیت‌های ایجاد شده توسط منابع بالادستی منجر به کمیابی مواد، منابع و انرژی نیز می‌گردد بنابراین باید موازنه جدیدی نوشته شود که در واقع موازنه منابع طبیعی کمیاب است. مفهوم کمیاب را می‌توان چنین بیان کرد:

۱ - کل کمیت منبع قابل دسترسی در مقایسه با مقدار منابعی که توسط بشر قبلاً کشف شده یا در آینده نزدیک کشف می‌شوند به حد کافی زیاد نیست. فلز پلاتین نمونه‌ای از این دست است.

۲ - منابع تجدید ناپذیر که سرعت مصرف آنها توسط انسان بسیار شدید است. نمونه‌ای از این دست سوختهای فسیلی هستند.

در موازنه این منابع کمیاب می‌توان شاخصی بعنوان "شاخص کمیابی " تعریف نمود . در مورد منابعی که سریعاً مصرف و نابود می‌شوند و میزان از دست رفتن این منابع بالاست، شاخص کمیابی نیز بالا خواهد بود . در سالهای اخیر چگونگی ارزیابی کمّی تخریب محیط زیست موضوع تحقیقات بسیاری بوده است. این تحقیقات گاهی مبتنی بر ارزیابی چگونگی تخریب محیط زیست و ارائه پارامترهایی برای بیان این تخریب و گاهی بر اساس ارزیابی تخریب زندگی انسانی بوده است [۱و۲].

. در این تحقیق، روشی برای محاسبه تخریب کلی توسط یک محصول صنعتی ارائه می شود که در واقع مجموع تخریب ایجاد شده توسط تخلیه محصولات صنعتی به محیط زیست است و بعنوان نمونه، آلودگی هایی که در محیط زیست در طی تولید یک کیلوگرم فولاد ایجاد می‌شود، تعیین گشته اند. همچنین شاخص کمیابی برای برخی از ذخایر و منابع مواد و انرژی ارائه شده است.

معیارهای ارزیابی تخریب محیط زیست

نرخ اشباع اکولوژیک

اگر $\dot{m}$ شدت جریان جرمی خروجی از یک فرآیند و حاوی عامل (جزء) آلاینده محیط زیست بوده به طوریکه غلظت آلایندگی این جزء g_i باشد، فلاکس آلاینده تخلیه شده به محیط زیست برابر است با

$$G_i = g_i \dot{m} \qquad (۱)$$

از سوی دیگر اگر g_{io} مقدار غلظت جزء آلاینده که می‌تواند به صورت طبیعی و تعادلی در محیط زیست وجود داشته و نقش آلاینده ندارد، فرض گردد می‌توان معادله (۱) را به شکل زیر نوشت:

$$G_i = (g_i - g_{io})\dot{m} + g_{io}\dot{m} \qquad (۲)$$

که ترم $(g_i - g_{io})\dot{m}$ بیانگر مقدار آلاینده و $g_{io}\dot{m}$ بیانگر مقدار غیرآلاینده از جریان جرمی $\dot{m}$ تخلیه شده به محیط زیست است.در معادله (۲) می‌توان $\dot{m}$ را بصورت زیر جایگزین کرد:

$$\dot{m} = \dot{m}\frac{G_i}{g_i} = \left[1 - \frac{g_{io}}{g_i}\right]\dot{m} + \frac{g_{io}}{g_i}\dot{m} \qquad (۳)$$

$(g_i - g_{io})$ در واقع غلظت آلایندگی جزء آلاینده تخلیه شده به محیط زیست یا بخش آلاینده جریان تخلیه شده است به عنوان مثال $\dot{m}$ می‌تواند جریان جرمی گازهای حاصل از احتراق زغال‌سنگ دارای گوگرد در محفظهٔ احتراق بوده و g_{io} غلظت دی اکسید گوگرد درون این گاز (درون این جریان جرمی) و g_{io} غلظت تعادلی دی اکسید گوگرد در آب دریا باشد. فلاکس غیرآلاینده که توسط جریان جرمی $\dot{m}$ وارد محیط می‌شود (یا G_{io}) را به صورت زیر بیان کرد:

$$G_{io} = \dot{m} g_{io}$$

نسبت $\frac{G_i}{G_{io}}$ درواقع نشان‌دهنده نسبت فلاکس آلاینده تخلیه شده به فلاکس آلاینده قابل پذیرش از نظر محیط است که می‌تواند معیاری برای شدت تخریب محیط زیست باشد. هر قدر این نسبت بزرگتر باشد مقدار تخریب توسط تخلیه بیشتر است. این نسبت را می‌توان نرخ اشباع اکولوژیک در اثر تخلیه جریان جرمی خروجی از واحدهای صنعتی نامید.

میزان g_{io} یا حداکثر غلظت قابل قبول جزء آلاینده در محیط زیست برای آلاینده ها ی مختلف متفاوت و کاملاً وابسته به جزء آلاینده و محدوده مورد نظر است که حتی با قوانین و شرایط کشورهای مختلف نیز تغییر می‌کند . در صورت لزوم می‌توان از کنوانسیون‌های بین المللی یا تجربیات قبلی در موارد مشابه نیز استفاده نمود [۳و۴].

برای ارزیابی واقعی و دقیق‌تر در کنار نرخ اشباع اکولوژیک باید معیارهای حرارتی (انرژتیک) را نیز در نظر گرفت . در صورتی که تخریب محیط زیست در اثر تخلیه انرژی حرارتی مانند تخلیه مقدار $\dot{m}$ از جریان آب گرم به محیط زیست باشد، در اینصورت $g_i = C_P T$ مقدار انرژی حرارتی آن است که به محیط تخلیه می شود و g_{io} در واقع $C_P T_\circ$ است و بیانگر غلظت آلایندگی انرژتیک قابل پذیرش توسط محیط زیست است ($T_\circ$ دمای متوسط محیط است). در این صورت اگر $\dot{Q}$ شدت جریان حرارت تخلیه شده به محیط در اثر تخلیه آب گرم باشد، می توان نوشت:

$$\dot{Q} = (1 - \frac{T_\circ}{T})\dot{Q} + \frac{T_\circ}{T_\circ}\dot{Q} \qquad (۴)$$

در این حالت، ترم $\left(1 - \frac{T_\circ}{T}\right)\dot{Q}$ همان اکسرژی حرارتی جریان $\dot{Q}$ است که فلاکس آلودگی حرارتی در اثر تخلیه جریان آب گرم را نشان می‌دهد. تشابه ریاضی موجود در معادلات (۳ و ۴) نشان می‌دهد که می‌توان معادلات مربوط به آلودگی محیط زیست را به معادلات اکسرژی مرتبط نمود [۸-۵].

جدول ۱- برآورد ایجاد تخریب بر حسب فاکتور و نقاط اکولویک

مواد	G_{io}	G_i	G_i / G_{io}	فاکتور اکولوژیک ($\times 10^{-6}$)	نقاط اکولوژیک
	هوا				
NO_X (NO_2 مانند)	67200 (ton/yr^{-1})	191000 (ton/yr^{-1})	284 %	400	8.08
SO_X (SO_2 مانند)	54400 (ton/yr^{-1})	68000 (ton/yr^{-1})	125 %	2300	1.56
CO_X (CO_2 مانند)	34700000(ton/yr^{-1})	43400000 (ton/yr^{-1})	125 %	3600	1.56
(CH_4 بجز) Hydrocarbon	146000 (ton/yr^{-1})	308000 (ton/yr^{-1})	210 %	1430	4.40
HCl		5770 (ton/yr^{-1})		4230	0.24
CFC (کل)	35075 (ton/yr^{-1})	5200 (ton/yr^{-1})	484 %	450000	33.40
	آب				
DOC (بر حسب $^{\circ}C$)	88000	89000	101 %	14-5	3.02
COD (3× DOC)	264000	267000	101 %	3.83	1.02
یون فسفر	2300 (ton/yr^{-1})	4000 (ton/yr^{-1})	174 %	75600	3.02
کلرور(Cl)	4420000 (ton/yr^{-1})	514000 (ton/yr^{-1})	12 %	2.62	0.01
نیترات (N)	57000 (ton/yr^{-1})	57000 (ton/yr^{-1})	21 %	0.905	0.05
سولفات (SO_4)	4420000 (ton/yr^{-1})	1500000 (ton/yr^{-1})	34 %	0.077	0.11
آمونیوم (برحسب N)	22000 (ton/yr^{-1})	5000 (ton/yr^{-1})	23 %	40.3	0.05
	انرژی				
انرژی خالص	4500000 J	1004000 J	100 %	1.00 MJ	1.00
	نخاله‌ها				
نخاله‌های شهری	4500000 (ton/yr^{-1})	4500000 (ton/yr^{-1})	100 %	0.222	1.00
نخاله‌های خاص قابل احتراق	8000 (ton/yr^{-1})	13000 (ton/yr^{-1})	163 %	20.3	2.64

درجه، فاکتور و توزیع اکولوژیک

بدلیل پراکندگی و تنوع آلاینده‌ها، باید پارامتری تعیین شود که بتواند نقش آلاینده‌های مختلف در تخریب محیط زیست را معادل‌سازی نماید. به عنوان مثال برای ارزیابی تخریب دو گاز مخلوط که یکی حتی در غلظت ها ی کم (مانند NO) بسیار آلاینده است و دیگری که بطور غیر مستقیم و آنهم در غلظت‌ها ی بالا آلودگی ایجاد می کند (مانند CO_2) بدین منظور می‌توان از نسبت میزان تخریب هر تن از ماده آلاینده به حداکثر مقدار قابل قبول آن توسط محیط زیست استفاده کرد که این پارامتر درجه اکولوژیک آن ماده نامیده می‌شود. در صورتیکه این نسبت در مقدار تن جریان مواد باشد فاکتور اکولوژیک نامیده می‌شود. درجه اکولوژیک برای هر ماده آلاینده در هر سال بیان می‌شود. در این صورت معادله (۱) که برای ارائه فلاکس تخریب بکار می‌رود را می‌توان به صورت زیر نشان داد:

(فلکتور اکولوژیک) (شدت جریان مواد بر حسب تن در سال) = فلاکس تخریب

در جدول (۱) میزان تخریب محیط زیست در اثر آلاینده‌های مختلف را بر حسب نرخ اشباع، فاکتور و نقاط اکولوژیک ارائه شده است که فاکتور اکولوژیک بر حسب گرم (نه تن) و G_{io} بر حسب تن در سال ارائه شده است .

توزیع اکولوژیک در واقع مجموع درجه‌های اکولوژیک یک ماده در میزان تخریب محیط‌های مختلف زیست ی است . می‌توان دید که برای بیش از نصف مواد (عوامل) آلاینده این نسبت بسیار بزرگتر از یک است و این امر نشان می‌دهد که اکثر آلاینده‌هایی که توسط تخلیه جریان جرمی به محیط زیست تخلیه می شوند باعث تخریب آن می‌گردند.

مطالعه موردی: تخریب محیط زیست در فرآیند تولید یک کیلوگرم فولاد

در زنجیره تولید فولاد از منابع طبیعی (سنگ و صخره) تا قطعات فولادی چهار مرحله زیر طی می‌گردد.

۱- استخراج از مواد معدنی ۲- تغلیظ

۳- حمل و نقل بسمت کارخانه ۴- تبدیل به فلز

در هر یک از این مراحل می‌توان میزان مصرف مستقیم و غیر مستقیم انرژی و مواد اولیه را معین نمود . تقریباً ۸۵-۸۰ درصد از تجهیزات مورد استفاده در صنایع مختلف از فولاد ساخته شده اند. و ۸۰٪ مصرف انرژی د ر تهیه فولاد در مرحله آخر (تبدیل به فلز) صورت می‌پذیرد [۹]. جدول (۲)، توزیع اکولوژیک در تولید یک کیلوگرم فولاد با در نظر گرفتن آلایندگی ایجاد شده در هوا، آب، میزان ایجاد نخاله و مقدار مصرف انرژی توسط مراحل تهیه آن نشان داده شده است . در جدول (۳) نیز موازنه اکولوژیک یک کیلوگرم فولاد ارائه گردیده است.

جدول ۲- توزیع اکولوژیک در تولید یک کیلوگرم فولاد

نقاط اکولوژیک	
30.68	مصرف انرژی: 30.69 mj
535.87	آلودگی هوا
0.124	آلودگی آب
27681.50	نخاله‌های جامد
28248.14	کل

جدول ۳ - موازنه اکولوژیک در فرآیند تولید یک کیلوگرم فولاد

نقاط اکولوژیک	جرم بر حسب گرم	
اجزای آلاینده در هوا		
--	27.163	ذرات جامد
0.042	1.172	CO
257.572	18.012	Hydrocarbon
85.699	2.026	NO_x
15.778	0.373	N_2O
176.755	7.686	SO_2
—	0.007	Aldehyde
—	0.00	F
—	0.005	HF
—	0.073	NH_3
—	0.0130	ترکیبات آلی
335.85	—	کل
اجزای آلاینده در آب		
—	0.8170	رسوبات

ذرات معلق	0.3180	ـــــ
BOD	0.052	ـــــ
COD	0.0013	0.05
آمونیاک	0.0065	0.067
کلریدها	0.00	0
سیانید	0.0001	0
یونهای آهن	0.1000	ـــــ
فلورید	0.0334	ـــــ
سولفورها	0.0002	ـــــ
HCl	2.00	0.052
یونهای سدیم	0.0002	ـــــ
نیترات	0.0003	0.0003
فنل	0.5142	ـــــ
سولفاتها	0.0003	ـــــ
قیر	0.0002	0.00
کل	ـــــ	0.124
	آلایندگی حاصل از نخالههای جامد	
احتراق	70	
عوامل انرژتیک	2.3	
احتراق اولیه	285.7	
تولید الکتریسته	5.62	
کل تولید	363.62	
	آلایندگی حاصل از انهدام	
تخلیه	200	ـــــ
کل تولید + نابود سازی	1363.62	27.681

شاخص کمیابی مواد و انرژی

کمیابی منابع انرژی یک معیار کاملاً نسبی است که بستگی به هزینه اکتشاف آنها دارد. قیمت یا ارزش اکولوژیک انرژی (که حدود ۲ تا ۳ برابر قیمت رایج است) کاملاً وابسته به اکتشاف بدون محدودیت منابع انرژی تجدید پذیر است. منابع معدنی و طبیعی حدود ده عنصر شیمیایی در پنجاه سال اخیر کاملاً مصرف شده و فقیر شده اند و به همین دلیل استفاده از بازیافت نخالهها و پسماندها یکی از روشهای اساسی در تأمین مواد اولیه صنایع است.

تحقیق در صنایع آهن و فولاد نشان میدهد که هم اکنون ۷۵٪ از فولاد و دیگر آهن آلات از اتومبیل ها ی قراضه تأمین میشود و هم اکنون ۹۵٪ اجزای اتومبیل قابل بازیافت هستند. این مورد می تواند برای تمامی مواد اولیه معدنی مورد کاربرد در صنایع عمومیت یابد [۹]. در جدول (۳)، میتوان آهنگ تولید از معادن روباز در ۱۹۷۴ را مشاهده کرد که بر اساس آن، طول عمر ذخایر بازده فلز، مس، سرب ، روی ، تنگستن ، آنتیموان، نقره، طلا، جیوه، بیسموت، اورانیم و قلع کمتر از ۵۰ سال است. در این صورت معادن طلا و نقره باید پس از ۲۳ سال از بین بروند و ذخایر ۹ فلز دیگر نیز ۲۰ سال بعد از آن به اتمام خواهند رسید. به همین دلیل در آینده اغلب صنایع مواد اولیه خود را از بازیابی نخالهها به دست میآورند و دیگر استفاده از معادن طبیعی، امکانپذیر نبوده و نخاله ای که دوباره مورد استفاده قرار نگیرد وجود نخواهد داشت. این تحول توسط پارامترهای سودآوری تکنولوژیک ـ اقتصادی ارزیابی

می‌شود و باید معیارهای اکولوژیک نیز در نظر گرفته شود. گسترش فرآیندهای غیرآلاینده در کوتاه مدت هزینه بر است ولی باید دقت داشت که چهار مشکل بزرگ (احتراق مناسب، بازیابی تمامی زباله‌ها و نخاله‌های جامد، و تخلیه جامدات و گازهای غیرآلوده) احتیاج به تکنولوژی جدید نداشته و تنها باید تکنولوژی موجود را گسترش داد. شاخص کمیابی I_R به صورت عمومی به فرم زیر بیان می‌شود.

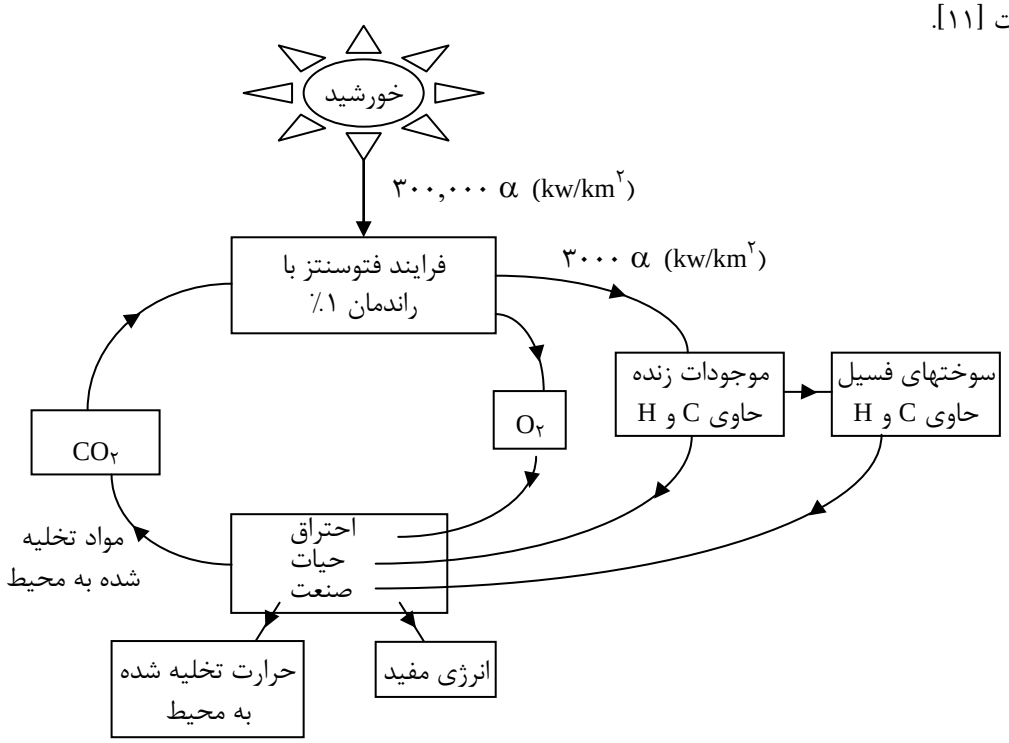
$$I_R = \frac{\text{منابع شناخته شده و قابل اکتشاف در حال حاضر با تکنولوژی موجود}}{\text{مصرف سالانه فعلی}}$$

به این ترتیب I_R، تعداد سالیان باقیمانده تا اتمام منابع خواهد بود با این فرض که میزان مصرف سالانه ثابت باشد . مقادیر مختلفی از عمر ذخایر موجود در جدول (۴) ارائه شده است [۴].

جدول ۴- عمر ذخایر و منابع شناخته شده

مواد معدنی	ذخایر (بر حسب تن)	شاخص کمیابی ذخایر (برحسب سال)	منابع شناخته شده (بر حسب تن)	شاخص کمیابی منابع شناخته شده (برحسب سال)
آهن	۲×۱۰^{۱۱}	۲۴۰	$۲/۵ \times ۱۰^{۱۱}$	۳۰۰
آلومینیوم	۳×۱۰^{۴}	۲۳۰	۴×۱۰^{۶}	۳۰۰
مس	۳۲۰×۱۰^{۴}	۴۲	۳۵۰×۱۰^{۴}	۴۷
سرب	۱۳۰×۱۰^{۴}	۳۷	۱۵۰×۱۰^{۴}	۴۳
روی	۲۳۰×۱۰^{۴}	۴۰	۲۵۰×۱۰^{۶}	۴۴
قلع	۱۰×۱۰^{۴}	۴۵	۲۰×۱۰^{۶}	۹۱
کرم (حاوی پنتا اکسید کرومات % 30-50)	$۱/۳ \times ۱۰^{۴}$	۲۰۰	$۱/۵ \times ۱۰^{۶}$	۲۳۰
نیکل	۸۰×۱۰^{۶}	۱۱۹	$۱۰^{۳}$	۱۵۰
کبالت	۴×۱۰^{۶}	۱۱۶	۵×۱۰^{۶}	۲۰۰
منگنز (حاوی% 30-50)	۴×۱۰^{۶}	۲۰۰	۵×۱۰^{۶}	۲۵۰
مولیبدن	۵×۱۰^{۶}	۸۳	۶×۱۰^{۴}	۱۰۰
تنگستن	$۱/۴ \times ۱۰^{۶}$	۳۵	$۱/۵ \times ۱۰^{۶}$	۳۸
وانادیم (V_2O_5)	۸×۱۰^{۴}	۷۲۷	$۱۰^{۷}$	۹۰۰
آنتیموان	۳×۱۰^{۴}	۴۱	۴×۱۰^{۴}	۵۵
بیسموت	۱۵۰×۱۰^{۶}	۳۷	۲۰۰×۱۰^{۶}	۵۰
لیتیم	۲×۱۰^{۶}	۱۶۶	$۱۰^{۶}$	۲۵۰
نیوبیم	۱۰×۱۰^{۴}	۱۶۶۶	۱۵×۱۰^{۶}	۲۵۰۰
تیتان	۴۰۰×۱۰^{۴}	۲۰۰	۵۰۰×۱۰^{۴}	۲۵۰
زیرکونیوم	۲۵×۱۰^{۶}	۶۲	۳۰×۱۰^{۴}	۷۵
قلیائی خاکی کمیاب	۵×۱۰^{۶}	۲۰۰	۷×۱۰^{۶}	۲۸۰
نقره	۱۵۰×۱۰^{۳}	۱۵	۱۷۰×۱۰^{۳}	۱۸
طلا	۳۱×۱۰^{۳}	۲۱	۳۱×۱۰^{۳}	۲۱
جیوه	۳۰۰×۱۰^{۳}	۳۴	۵۰۰×۱۰^{۳}	۵۷
اورانیوم	$۰/۹ \times ۱۰^{۶}$	۴۵	$۱/۵ \times ۱۰^{۴}$	۷۳

در باره شاخص کمیابی می‌توان گفت که مقدار آن برای سوختهای فسیلی و عناصر رادیواکتیو بی‌نهایت بزرگ است بجز در مورد اورانیوم که ذخایر اورانیوم حداکثر تا یک قرن دیگر به اتمام خواهند رسید. در مورد کمیابی انرژی ابتدا باید دانست که مقدار انرژی مصرفی انسان به طور متوسط ۱۰۰۰± ۳۰۰۰ کیلوکالری در هر بیست و چهار ساعت یا معادل توان متوسط ۱۵۰W است. از طرف دیگر آمار نشان می‌دهد که مصرف انرژی صنایع مرتبط با نیازهای انسان حدود ۲ کیلو وات بازای هر نفر است که این مقدار با در نظرگرفتن جمعیت شش میلیاردی بشر بر روی زم ین به دست آمده است. (این مقدار برای ساکنان کشور فرانسه ۴/۴ کیلو وات و در آمریکا kw ۱۱ بازای هر انسان معمولی است) [۱۰]. با در نظر گرفتن سطح قابل استفاده زمین برابربا $۵\times۱۰^{۸}\ km^2$ می توان تراکم متوسط جمعیت در سطح زمین را برابر ۱۲ نفر در هر کیلومتر مربع دانست که بدین ترتیب مصرف انرژی در واحد کیلومتر مربع $۲۵/۸\ kw/km^2$= ۱۲ × (۰/۱۵ + ۲) خواهد بود که در واقع فلاکس مصرف انرژی است.۹۰٪ انرژی مصرفی انسان و صنایع مرتبط با مصرف او، توسط انرژی فسیلی مانند نفت، گاز، زغال سنگ که از تجزیه گیاهان و جانداران توسط انرژی خورشیدی در طی میلیونها سال ایجاد شده اند، حاصل می‌گردد. انرژی خورشیدی جذب شده توسط اقیانوسها و در واقع جذب شده توسط میکروارگانیسم زنده که درته دریا رسوب می‌کنند و پس از میلیونها سال تشکیل نفت می‌دهند، منابع اصلی انرژی هستند. شکل (۱) فرآیند فتوسنتز و احتراق را بصورت چرخه ارائه می‌کند. اگر چه تولید این سوخت‌ها میلیونها سال بطول انجامیده است و در واقع بدون در نظر گرفتن این سالها، میزان تولید نفت، گاز و زغال‌سنگ در یک رژیم ثابت، بیشتر از مصرف آن است ولی این بدان معنی نیست که ذخایر نفت، گاز و زغال سنگ که استخراج آنها از نظر اقتصادی به صرفه است نامحدود هستند. درصد مهمی از این ذخایر را زغال سنگ با کیفیت نازل، بیتومن‌ها و لیگنیت‌ها تشکیل می‌دهند که استخراج و تخلیص آنها هزینه ای بیش از قیمت نفت و گاز خواهد داشت [۱۱].



شکل ۱- چرخه فتوسنتز و احتراق

انرژی خورشیدی دریافتی توسط زمین حدود $۳۰۰\ w/m^2$ یا $۳۰۰۰۰۰\ kw/km^2$ است که ۱۷۴۰۰ برابر متوس ط انرژی مصرفی توسط انسان است. جدول (۵) اطلاعات فوق را بصورت خلاصه ارائه کرده است.

جدول ۵- اطلاعات مربوط به مصرف انرژی توسط انسان

مقدار انرژی متوسط مصرفی توسط انسان (kw)	مصرف انرژی در منابع مرتبط با انسان به ازای هر نفر (kw)	سطح خشکی مورد استفاده توسط انسان در زمین (km)	تراکم متوسط انسانی (نفر)	مصرف انرژی توسط انسان در واحد سطح (kw/km^2)
۰/۱۵	۲	۵×۱۰^{۸}	۱۲	۲۵/۸

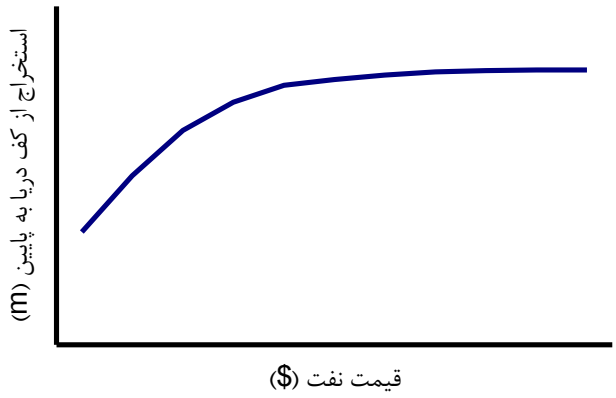
اگر a بخشی از سطح زمین باشد که توسط سبزیجات پوشیده است که عامل فتوسنتز هستند یعنی واکنش ی که گلوسید و اکسیژن از CO_2و H_2O با راندمان ۱٪ تولید می‌کند.

$$CO_2 + H_2O \longrightarrow O_2 + C_nH_{2n}O_n + (\text{انرژی خورشیدی})$$

مقدار فلاکس انرژی تولید شده توسط مواد آلی موجود در گیاهان برابر با ۳۰۰۰۰۰ × ۰/۰۱ × a kw/km است .
بدین شکل می‌توان فلاکس تولید انرژی توسط خورشید و مصرف انرژی توسط انسان را بصورت زیر ارائه کرد:

$$\frac{\text{فلاکس تولید انرژی}}{\text{فلاکس مصرف انرژی}} = \frac{a}{} = ۱۱۶a$$

بنابراین در صورتی که a حداقل ۱/۱۱۶ باشد تولید انرژی همیشه از مصرف آن در زمین بیشتر خواهد بود. به عبارت دیگر اگر کسر سطح پوشیده زمین از گیاهان بیشتر از ۱/۱۱۶ باشد انرژی تولیدی توسط انرژی خورشیدی بیشتر از انرژی مصرفی توسط بشر خواهد بود. می‌توان دید که فلاکس تولید سوخت‌ها ی فسیلی در کل و در حال حاضر بسیار بیشتر از شدت مصرف انرژی است.
شکل (۲) ارتباط قیمت نفت با استخراج آن از کف دریا را ارائه می‌کند [۱۲]. بر طبق این شکل در صورت افزایش قیمت نفت، میزان استخراج از ذخایر عمیق‌تر در دریا وجود خواهد داشت و در این صورت می‌توان گفت در صورت افزایش قیمت نفت حتی بدون در نظر گرفتن انرژی هسته ای هیچگاه بحران انرژی وجود نخواهد داشت و تکنولوژی‌های غیر مستقیم استفاده از انرژی خورشیدی نیز کافی خواهند بود زیرا ذخایر نفتی موجود نه تنها کاهش نمی یابد بلکه قابل افزایش نیز خواهد بود. این استدلال می‌تواند در مورد همه سوخت‌های فسیلی مانند زغال سنگ با کیفیت پائین که در تمام نقاط جهان وجود دارند و همینطور در مورد گاز طبیعی که در این شرایط می توان آنرا از ذخایر دور از دسترس نیز برداشت نمود، صادق باشد.



شکل ۲- تغییرات قیمت نفت با عمق استخراج از کف دریا

برای آنکه ذخایر جدید استخراج شوند کافی است که قیمت انرژی ۲ تا ۳ برابر قیمت فعلی باشد . از آنجائیکه این افزایش تدریجی خواهد بود قیمت اکولوژیک ذخایر نیز تا یکی، دو قرن بعد تغییر رکرده یا به این میزان تغییر نخواهد کرد.

نتیجه گیری

با استفاده از موازنه تخریب، فلاکس تخریب و نرخ اشباع اکولوژیک می توان تأثیر تخلیه جریانات به محیط زیست را ارزیابی نمود. داده‌ها نشان می‌دهند که نرخ اشباع اکولوژیک برای عمده جریانات تخلیه شونده به محیط زیست بیش از واحد است که بیانگر تخریب محیط زیست توسط این جریانات است. شاخص کمیابی نیز نشان می‌دهد که ذخایر مواد اولیه رو به کاهش است این موضوع در مورد منابع انرژی قابل دسترس نیز صادق است ولی در صورتیکه بتوان از ذخایر غیر قابل دسترس یا ذخایر کم‌کیفیت استفاده نمود می‌توان میزان ذخایر انرژی را به مقدار قابل ملاحظه ای افزایش داد.

مراجع

[1] Schlauer J., Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry, 6th ed., vol. 1, John Wiley and Sons, New York, 2003.

[2] Crocker B. B., Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology; Air pollution control, vol. 1, 5th ed., John Wiley, New York, 2004.

[3] Gaivao A., Jaumotte A. L., Evalution èconomique de la pollution de l`environment par une activité industrielle. Application aux centrals èlectriques, Entropie, No. 121, pp. 5-11, 1985.

[4] Malkin D., Sarbib J. L., Les matierès premières minerals: perspectives mondiales et politiques d`approvisionnement, Etude de politique industrielle, Documentation Français, Paris, 1975.

[۵] سمنانی‌رهبر م". تحلیل فرآیندها با استفاده از مفهوم اگزرژی"، مجله مهندسی شیمی ایران، شماره ۸، ۱۳۸۲.

[6] Akpinar K. E., Hepbasli A., "A comparative study on exergetic assessment of two ground-source (geothermal) heat Pump systems for residential applications", Building and Environment, Vol. 42, pp. 2004-2013, 2007.

[7] Gong G., Zeng W., Chang S., He J., Li K., "Scheme-selection optimization of cooling and heating sources based on exergy analysis", Applied Thermal Engineering , Vol. 27 , PP. 942-950, 2007.

[8] Legoff P., Hornut M. J., Exergy analysis and exergo-economic optimization of industrial processes, Revue de l`institute français de petrole, vol. 53, no. 1, 1998.

[9] McKetta J., Encyclopedia of chemical processing and design, Marcel dekker, Vol. 31, pp. 183-188, 1990.

[10] Frangopoulos C. A., Von Spakovsky M. R., Global environmic approach for energy systems analysis and optimization. Part 1 and 2, Energy system and ecology, Poland, July 5-9, 1993.

[11] Lyons C. W., Plisga J. G., Standard handbook of Petroleum & natural gas engineering, 2nd ed., Gulf professional publishing, Massachusset, 2005.

[12] Bradley B. M., Petroleum engineering handbook, 3rd ed., Society of Petroleum engineers, Texas, 2001.

Application of ecological index for evaluating of environment nuisance and rarity of energy and raw materials

M. S. Rahbar, S. Anoosheh
Chem. Eng. department, Engineering faculty, Imam Hussein University

Abstract
The interactions of any industrial process with its environment, are located either upstream due to the rarity of natural resources, or downstream due to the rejection of noxious byproducts. In this paper, the indexes were presented for illustration of environment nuisance as rate of ecological saturation, ecological points and factors. The anaysis results for different discharges of many industrial plants into environment show that rate or ecological saturation is more than one which demonstrates environment pollution by them. As an example, the inventory of the air, water and rejected solids pollutions during the production of one kilogramme of steel was presented
Also, the rarity of raw materials and fossil energy reserves were shown by the relative indexes (criterion). Analysis of data shows that if the price of oil (or natural gas) increases, its exploitation can inerese and consequently, prevents the rarity of energy which depends on world economic condition and technology progress.

Key words: nuisance, rarity, raw materials, energy, rate of ecological saturation