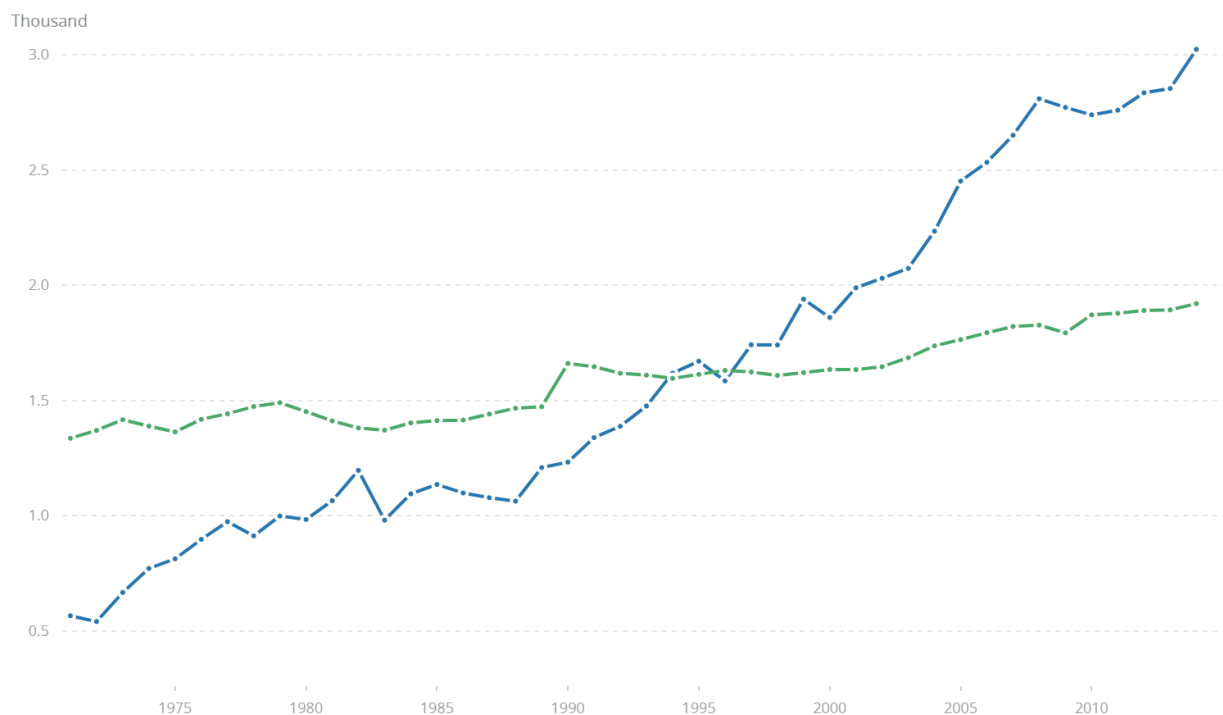




کره زمین امروزه با جمعیتی در حدود ۷,۷ میلیارد نفر انسان اشغال شده است. این عدد که سالهاست تقریباً با شیب یکسانی رشد می کند، پنجاه سال پیش تنها ۳,۶ میلیارد بود. از فقط ۵۰ سال پیش (سال ۱۹۶۹) تا حالا جمعیت جهان ۲ برابر شده است!^۱ ۵۰ سال اصلاً عدد دوری نیست. قضیه برای ایران بغرنج تر می شود، چراکه از ۵۰ سال پیش تا حالا جمعیت ایران ۳ برابر شده است!^۲ از طرفی میزان مصرف هر ایرانی هم سالانه رشد کرده است؛ (بعضاً) بیش از مقادیر جهانی. بنابراین اصلاً بعید نیست اگر میزان تولید پسماند از ۵۰ سال پیش تا حالا به صورت سرسام آوری در ایران و جهان افزایش پیدا کرده باشد. به نمودارهای زیر که در آن آبی نمایاننده ایران و سبز نمایاننده جهان است، نظری بیاندازید:^۳

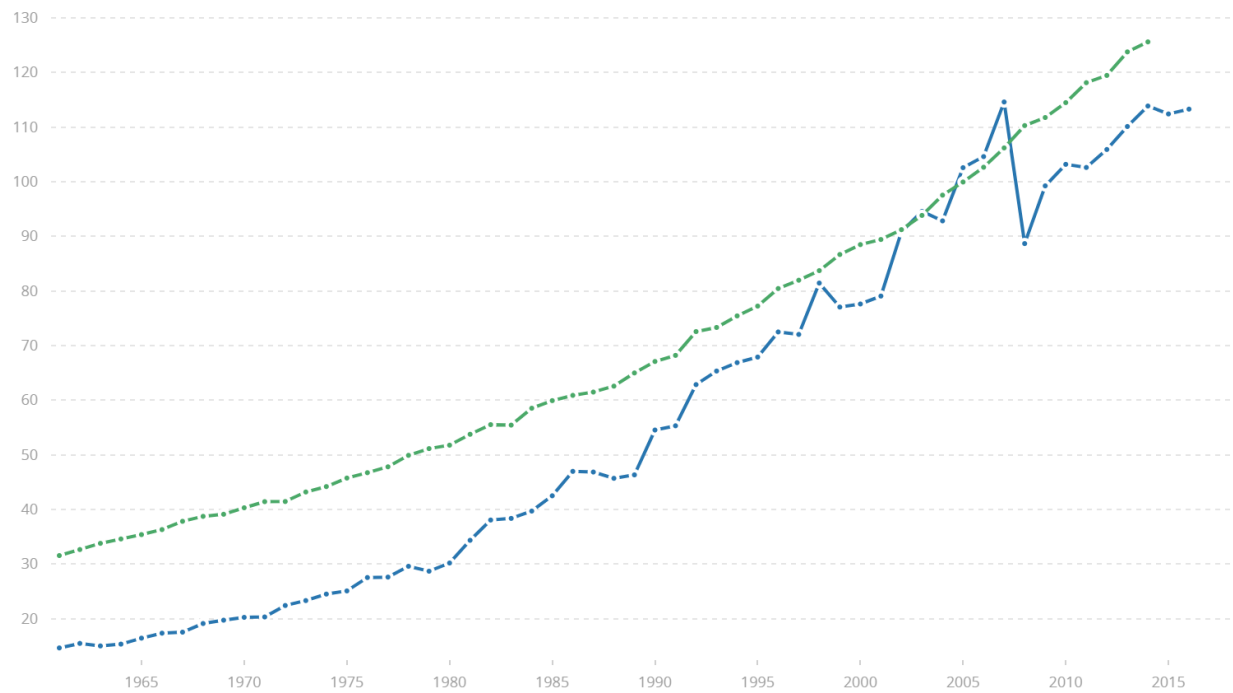


شکل ۱. سرانه مصرف انرژی (در واحد کیلوگرم نفت)

^۱ با استفاده از داده های WorldBank

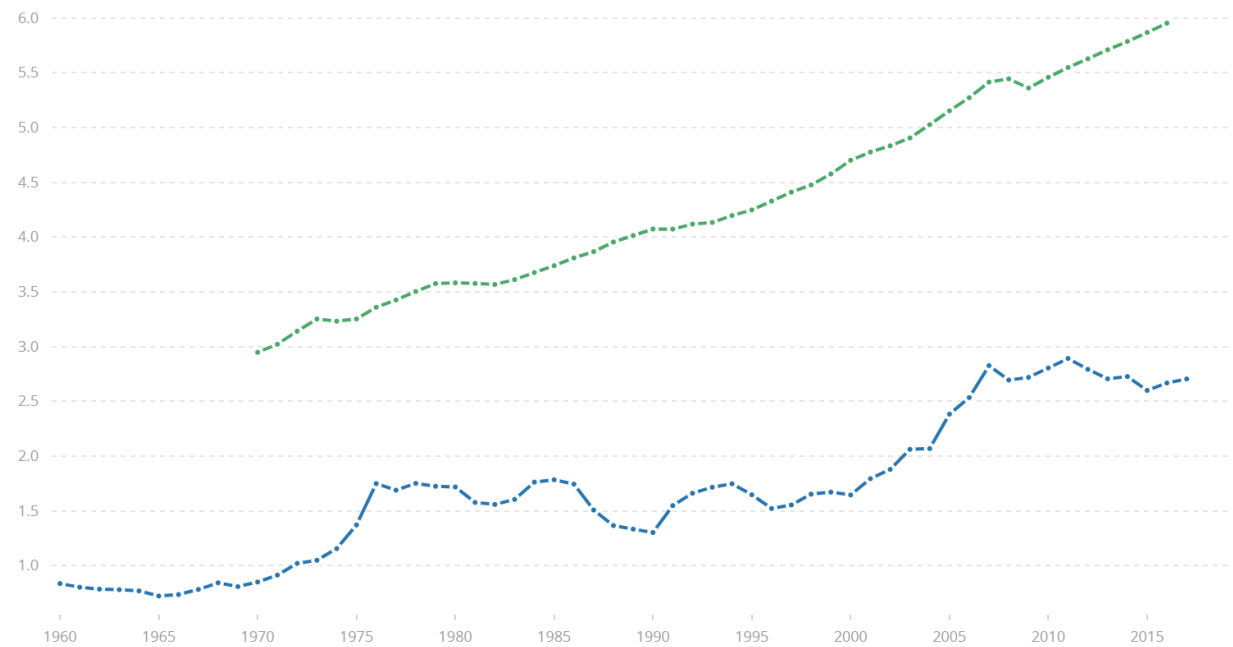
^۲ از حدود ۲۷ میلیون تا حدود ۸۱ میلیون نفر

^۳ تمام نمودارها برگرفته از داده های سایت بانک جهانی است.



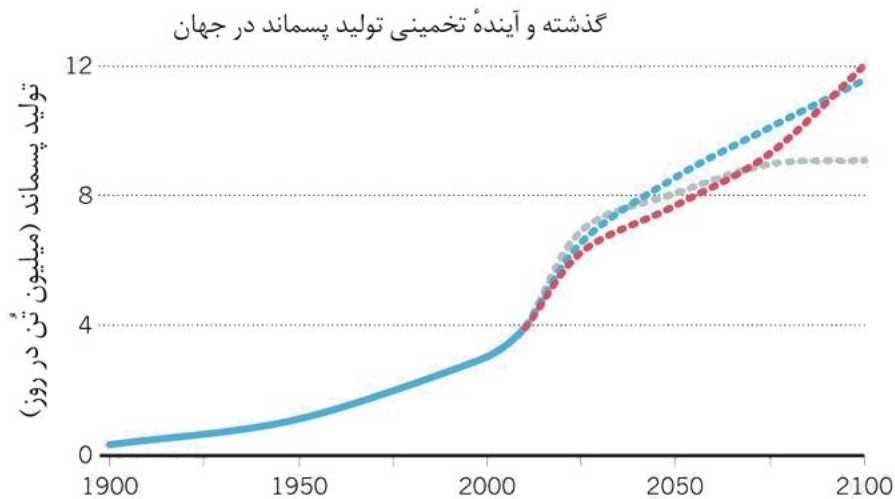
شكل 2. انديس توليد خوراك

Thousand



شكل 3. هزينه مصرف خاناوار (به دلار سال ۲۰۱۰)

در جهان هر سال ۲٫۱ میلیارد تن زباله تولید شده و بر زباله‌های سالهای قبل انباشه می‌گردد.^۴ و این رقم رو به افزایشی ویرانگر دارد، به طوریکه بسته به سناریویی که در پیش خواهیم گرفت این رقم تا تقریباً ۳۰ سال دیگر می‌تواند حدود ۷۰٪ رشد کند (نمودار زیر).^۵



شکل ۴. تخمین آینده تولید پسماند جهانی (با سناریوهای مختلف)^۶

بد نیست به دنباله مقایسه پنجاه ساله‌ای که در ابتدای متن کردیم، از روی نمودار بالا ببینید که از پنجاه سال پیش تا حالا میزان پسماندی که هر روز در جهان تولید می‌شود ۳ برابر شده است!

چیزی که برای مسئله فیزیکی ما بیشتر مورد اهمیت است، مقدار تولید زباله در حال حاضر و رشد آن در سالهای آتی است. قرار است هر سال ۲٫۱ میلیارد تن یا ۲٫۱۰۰٫۰۰۰٫۰۰۰٫۰۰۰ کیلوگرم زباله را به فضا بفرستیم. برای اینکه حسی نسبت به این عدد پیدا کنید بیاید چند مثال برایش پیدا کنیم.

تعداد تمام آدمهای کره زمین ۷٫۷ میلیارد نفر است. اگر به طور متوسط وزن هر آدم را ۶۰ کیلوگرم در نظر بگیریم، نسبت وزن زباله تولید شده در هر سال به وزن تمام انسانهای کره زمین برابر خواهد بود با:

$$\frac{2.1 \times 10^{12} kg}{7.7 \times 10^9 \times 60 kg} = \frac{2100}{462} \approx 4.5$$

یعنی در هر سال ۴٫۵ برابر وزن کل آدمهای زمین آشغال تولید می‌شود. پس طرح فرستادن زباله‌ها به فضا مثل این است که هر سال ۴٫۵ بار تمام انسانهای زمین را عازم فضا کنیم.

^۴ http://www.theworldcounts.com/counters/shocking_environmental_facts_and_statistics/world_waste_facts

^۵ همچنین می‌توانید به این مطلب مراجعه کنید:

<http://www.worldbank.org/en/news/feature/2013/10/30/global-waste-on-pace-to-triple>

^۶ <https://www.nature.com/news/environment-waste-production-must-peak-this-century-1.14032>

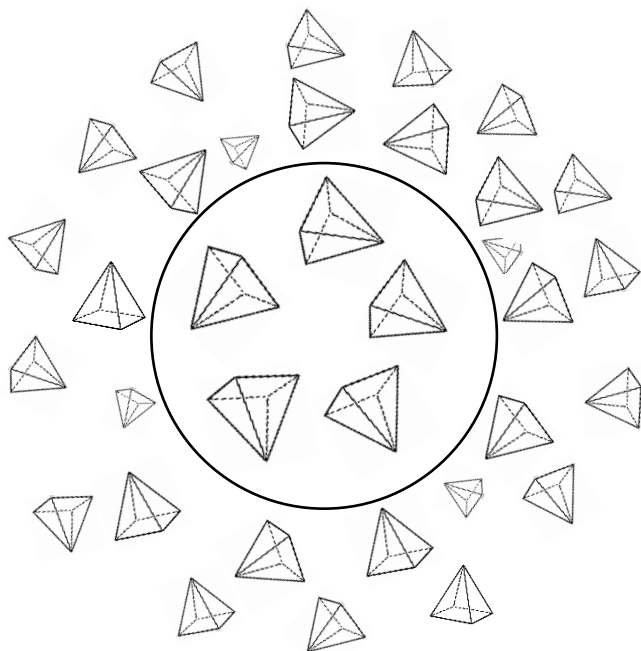
هرم بزرگ جیزه ۶٫۵ میلیون تُن است، بنابراین وزن پسماند سالانه، ۳۲۳ برابر وزن هرم جیزه است. یعنی حتی اگر تمام زباله‌ها را مثل سنگ فشرده کنیم، باز هم هر سال حجمی به اندازه ۳۲۳ هرم بزرگ جیزه را به خود اختصاص خواهند داد.

مقدار باری که شاتل فضایی در هر بار پرتاب می‌تواند با خود تا یکی از مدارهای زمین (مثلاً همانجایی که ایستگاه فضایی قرار دارد) حمل کند از حدود ۲۰٫۰۰۰ کیلوگرم است.^۷ یعنی برای اینکه آشغالهای سالانه زمین را به فضا ببریم تا در مداری دور زمین بچرخند باید هر سال به تعداد زیر شاتل هوا کنیم:

$$\frac{2.1 \times 10^{12} \text{ kg}}{2 \times 10^4 \text{ kg}} \approx 10^8$$

یک میلیارد بار! هر سال!

هر بار پرتاب شاتل حدود ۴۵۰ میلیون دلار هزینه دارد.^۸ یعنی از این راه، در هر سال باید ۴۵۰ هزار تریلیون دلار صرف قرار دادن آشغالها در مدار زمین کرد. تازه این آشغالها هنوز از جاذبه زمین خارج نشده‌اند و در مداری همواره به دور آن در حال چرخشند. این در حالی است که تولید ناخالص جهانی از مرتبه ۱۰۰ تریلیون دلار است.^۹ یعنی شاتل هوا کردن برای آشغالها ۴۵۰۰ برابر اقتصاد جهانی هزینه برمی‌دارد! حالا اگر شما راهی پیدا کنید که از شاتل هوا کردن ۱۰ برابر نه ۱۰۰ برابر نه ۴۵۰۰ برابر هم ارزانتر باشد، هنوز به نظر با عملی شدن/اقتصادی شدن فاصله درازی دارد.



حالا بیاید به صورت جزئی‌تر فیزیک مسئله را بررسی کنیم. در کل چه چیز نمی‌گذارد اجسام روی زمین به فضا بروند؟ خب طبیعتاً گرانش زمین مسئول این قضیه است. می‌دانیم که گرانش با فاصله از مرکز زمین افت می‌کند. اگر فاصله ما از مرکز زمین مثلاً ۱۰۰۰ کیلومتر باشد و در آنجا فقط به اندازه مثلاً ۱ کیلومتر بالا و پایین شویم، این تغییر ارتفاع چندان به چشم نمی‌آید و به همین خاطر جاذبه در این بالا و پایین شدن تغییر چندانی پیدا نمی‌کند. شعاع زمین ۶۴۰۰ کیلومتر است، بنابراین وقتی روی سطح زمین هستیم از مرکز آن ۶۴۰۰ کیلومتر فاصله داریم، به خاطر همین برای ما و تغییر ارتفاع دادنهای کوچکیمان جاذبه زمین ثابت به نظر می‌رسد. با این فرض است که نیروی جاذبه‌ای که به یک جرم وارد می‌شود را ثابت و برابر با mg در نظر می‌گیریم. (g شتاب جاذبه و روی سطح زمین تقریباً برابر با ۱۰ متر بر مجذور ثانیه است.)

فرض کنید شتاب جاذبه ثابت و برابر با همان ۱۰ متر بر مجذور ثانیه

باشد. آنوقت اگر جسمی را مثلاً با سرعت ۸۰ متر بر ثانیه به بالا پرتاب کنیم، در هر ثانیه از سرعت آن به اندازه ۱۰ متر بر ثانیه کاسته می‌شود. بنابراین ۸ ثانیه طول می‌کشد تا این جسم سرعتش صفر شود. پس از آنکه سرعت صفر می‌شود، جسم دیگر بالا نمی‌رود، از اینجا به بعد سرعت رو به پایین خواهد شد. پس نقطه‌ای که سرعت در آن صفر می‌شود، اوج ارتفاعی است که جسم می‌تواند بگیرد و بیشتر از آن بالا

^۷ Encyclopedia Astronautica, Shuttle ISS: <http://www.astronautix.com/s/shuttleiss.html>

^۸ https://www.nasa.gov/centers/kennedy/about/information/shuttle_faq.html#10

^۹ <https://www.statista.com/statistics/268750/global-gross-domestic-product-gdp/>

نمی‌رود. پس از نقطهٔ اوج باز هم در هر ثانیه ۱۰ متر بر ثانیه به سرعت جسم به طرف پایین اضافه می‌شود و درست ۸ ثانیه بعد، جسم با همان سرعتی که پرتاب شده بود به مکان اولیهٔ خود برمی‌گردد. (البته اینها به شرطی است که مقاومت هوا نداشته باشیم.)

بعد از ۸ ثانیه  $v = 0 \text{ m/s}, \quad g = 10 \text{ m/s}^2$

بعد از ۷ ثانیه  $v = 10 \text{ m/s}, \quad g = 10 \text{ m/s}^2$

بعد از ۶ ثانیه  $v = 20 \text{ m/s}, \quad g = 10 \text{ m/s}^2$

بعد از ۵ ثانیه  $v = 30 \text{ m/s}, \quad g = 10 \text{ m/s}^2$

بعد از ۴ ثانیه  $v = 40 \text{ m/s}, \quad g = 10 \text{ m/s}^2$

بعد از ۳ ثانیه  $v = 50 \text{ m/s}, \quad g = 10 \text{ m/s}^2$

بعد از ۲ ثانیه  $v = 60 \text{ m/s}, \quad g = 10 \text{ m/s}^2$

بعد از ۱ ثانیه  $v = 70 \text{ m/s}, \quad g = 10 \text{ m/s}^2$

لحظهٔ پرتاب  $v = 80 \text{ m/s}, \quad g = 10 \text{ m/s}^2$

دقت کنید که در تصویر بالا، سرعت هر لحظه از سرعت لحظه قبل خود منهای شتاب جاذبه در آن لحظه بدست می‌آید. وقتی شتاب جاذبه ثابت باشد، جسم را با هر سرعتی که پرتاب کنید بالاخره زمانی به نقطهٔ اوج خود خواهد رسید و باز خواهد گشت. اما اگر شتاب جاذبه با ارتفاع کم شود قضیه متفاوت خواهد بود. در هر لحظه از مسیر شتاب جاذبه می‌تواند چنان کاهش یابد که سرعت هیچگاه صفر نشود. در این حالت جسم هیچگاه به ارتفاع اوج نمی‌رسد و در نتیجه هیچگاه به زمین برنخواهد گشت؛ به اصطلاح از جاذبه زمین فرار کرده است.

اگر جسم را از دورترین فاصله ممکن نسبت به زمین رها کنیم، جسم بسیار بسیار آرام تحت جاذبهٔ شدیداً ضعیف زمین، کشیده خواهد شد و شروع به حرکت به طرف زمین خواهد کرد. در این راه آرام آرام سرعت کسب می‌کند و در نهایت بالاخره با سرعتی مشخص (V) به سطح زمین

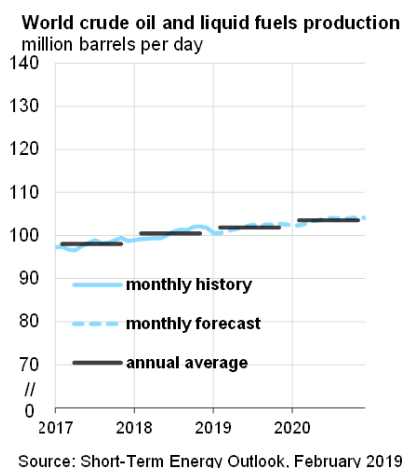
می‌رسد. حالا اگر برعکس، جسم را با همان سرعت ۷ از سطح زمین پرتاب کنیم، تا دورترین فاصله ممکن خواهد رفت. به ۷ سرعت فرار زمین می‌گوییم، چرا که اگر جسم را با سرعتی بیشتر از ۷ پرتاب کنیم حتی در دورترین فاصله ممکن نیز سرعتش صفر نمی‌شود و به اوج خود نخواهد رسید، و بنابراین هیچگاه به زمین بازخواهد گشت.

اگر خواستید در این مرحله یک استراحتی بکنید!

اگر موشکی بخواهد زباله‌ها را از جاذبه زمین فراری دهد باید آنها را به سرعت فرار زمین برساند. سرعت فرار زمین ۱۱٫۲ کیلومتر بر ثانیه است. (طریقه بدست آوردن این سرعت را در اینجا نمی‌نویسم تا متن شلوغ نشود. اگر در این رابطه توضیحاتی خواستید به ایمیل کانال پیامی بفرستید.) انرژی جنبشی ۱ کیلوگرم آشغال که با سرعت ۱۱٫۲ کیلومتر بر ثانیه حرکت می‌کند برابر است با:

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 1 \times 11200^2 \text{ ژول} = 62,720,000 \text{ ژول}$$

یک لیتر سوخت عادی حدود ۳۰ میلیون ژول انرژی دارد. پس برای اینکه به ۱ کیلوگرم آشغال انرژی جنبشی بالا را بدهیم دست‌کم به ۲ لیتر سوخت احتیاج داریم. پس برای شوت کردن پسماند سالانه به فضا به ۴٫۲ تریلیون لیتر سوخت در سال احتیاج هست. مقدار زیادی است نه؟ یک سؤال خوب می‌تواند این باشد که میزان تولید سالانه سوخت در سراسر جهان چقدر است^{۱۰}:



شکل ۵. میزان روزانه تولید نفت و سوختهای مایع در جهان

حدود ۱۰۰ میلیون بشکه یا ۱۵۹۰۰ میلیون لیتر در روز که می‌شود حدود ۶ تریلیون لیتر در سال. تقریباً با مقداری که برای سفر فضایی آشغالها لازم بود برابر است. بنابراین اگر تمام کارهایی که در دنیا نیاز به سوخت دارند را متوقف کنیم می‌توانیم انرژی جنبشی‌ای که آشغالها باید برای فرار از زمین کسب کنند را تأمین کنیم. البته خب، اگر تمام کارهای محتاج سوخت را متوقف کنیم مشکل تولید زباله عملاً خود به خود حل می‌شود چون بسیاری از تولیدات نیز از کار خواهند افتاد.

تمام حرفهای بالا مشروط به این است که تبدیل انرژی سوخت به انرژی جنبشی آشغال به صورت مستقیم و با بازده ۱۰۰٪ انجام شود.^{۱۱} اما نه بازده صددرصد است و نه این تبدیل به صورت مستقیم صورت می‌گیرد؛ بالاخره یک چیزی نیاز داریم تا این انرژی را به زباله منتقل کند. مثلاً باید زباله را سوار موشکی چیزی کرد و موشک را شتاب داد. در این صورت انرژی جنبشی لازم برای فرار از جاذبه زمین نه تنها برای زباله

^{۱۰} https://www.eia.gov/outlooks/steo/report/global_oil.php

^{۱۱} تازه تا اینجا از مقاومت هوا هم صرف نظر کردیم.

بلکه برای کل موشک نیز باید در نظر گرفته شود. مثلاً همین موشکهای **فalcon سنگین** که اخیراً مشهور شده‌اند را در نظر بگیرید. مقدار باری که این موشکها می‌توانند تا مداری از زمین حمل کنند حدود ۳۰,۰۰۰ کیلوگرم است، در حالی که جرم خود موشک ۱,۵۰۰,۰۰۰ کیلوگرم است.¹² البته باید در نظر داشت که کل این مقدار به سرعت فرار نمی‌رسد، چون هرچه سوخت موشک بیشتر مصرف می‌شود، موشک سبکتر و سبکتر می‌گردد. در هر صورت اگر بخواهیم کل این جرم را به سرعت فرار برسانیم به ۵۰ برابر انرژی قبلی نیاز داریم. این انرژی معادل است با حدود ۲۰۰ تریلیون لیتر سوخت. از عواقب مخرب زیست محیطی و هزینه هنگفت آن که بگذریم، اصلاً این مقدار سوخت را از کجا بیاوریم؟!

ضمناً الان بد نیست اشاره کنیم که با اضافه کردن مقاومت هوا، انرژی هدر رفته توسط اصطکاک را نیز باید به سوخت مورد نیاز خود اضافه کنیم. تأثیر مقاومت هوا تقریباً معادل است با افزایش سرعت فرار به اندازه ۲ کیلومتر بر ثانیه. خود همین سوخت مورد نیاز را دوباره می‌کند.

مسئله

- اگر فقط پسماندهای هسته‌ای را به فضا بفرستیم چه؟
 - آنها نیز سنگین و پرخرج هستند و پیامدهای خطا در پرتابشان می‌تواند بشریت را با هیولای چند سر دیگری روبرو کند.
- نمی‌توانیم زباله‌ها را در آتشفشان بسوزانیم؟
 - خب اگر بسوزانیم که به صورت دود و گازهای مضر وارد هوا می‌شوند.
 - کدام آتشفشان سالانه به اندازه ۳۲۳ هرم بزرگ جیزه جا دارد؟
- اگر علم بشر رفته‌رفته پیشرفت کرده و تکنولوژی موشکها و صنایع فضایی را نیز پیشرفت دهد چه؟
 - دیدیم که حجم زباله خیلی بیشتر از این حرفهاست. اما همانطور که در آغاز بحث کردیم، گیریم که با زمان تکنولوژی فضایی پیشرفت کند؛ میزان تولیدات زباله نیز هر سال در حال افزایش چشمگیری است.

بنابراین گرچه فراری دادن آشغالها خلاف قواعد فیزیکی نیست، اما با توجه ظرفیت بشر و کره زمین، این ادعا نادرست اعلام می‌گردد.



¹² <https://www.spacex.com/falcon-heavy>