ASTRONOTİK

Doç. Dr. Hasan H. Esenoğlu

2017-8-9-20

Teori Konu Başlıkları

Astronotiğin Tarihçesi

Roketlerin genel yapısı, Kimyasal roket yakıtları

Roketlerin performansına ait parametreler

Roketlerin performansına ait parametrelerin tespiti

Kademeli Roketler ve Roket Motorları

Uydu yörüngelerin sınıflandırılması, yörünge hızlarının tespiti

Uyduların yörünge değişimleri- Transfer yörüngeler

Uzay araçları ve sınıflandırmalar, Uydularda yönlendirme metotları ve yörünge düzeltmeleri

Yer yörüngeli Uydular

Astronomi Amaçlı Yer Yörüngeli Uydular

Güneş Sistemi uyduları

Teori Konu Alt Başlıkları

Roketlerin genel yapısı, Kimyasal roket yakıtları

- Roketlerin Yapısı
- Bir Roket Yakıtından İstenilen Özellikler
- Katı Yakıtlı Roketler
- Katı Yakıtlı Roketlerin Avantajları
- Katı Yakıtlı Roketlerin Dezavantajları
- Sıvı Yakıtlı Roketler
- Sıvı Yakıtlı Roketlerin Avantajları
- Sıvı Yakıtların Dezavantajları

Roketlerin Yapısı

Roketler genellikle dış görünüşlerine göre uç kısmı sivri, silindirik bir gövdeye sahip, üçgen şeklinde kanatları olan etki-tepki prensibine göre hareket eden taşıyıcı araçlardır. Bir roket kaba hatlarıyla üç kısımdan oluşur.

1. Roketin genelde ucunda bulunan yük kısmı (kargo)

Yük bazen bir uydu, bazen de bir bomba olabilir. Bazen bu yük roketin uç kısmında olmayıp üzerine yapıştırılmış durumda olabilir. Bir örnek verirsek Uzay Mekiği, bir roket değil, roket üzerine yerleştirilmiş bir yüktür.

2.Yakıt Kısmı

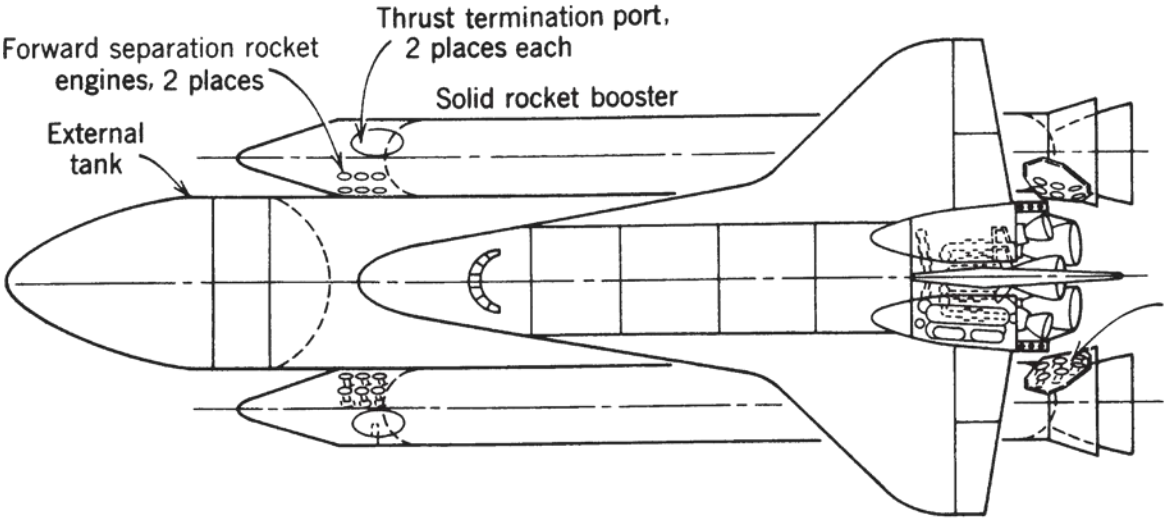
Roketin toplam ağırlığının çok büyük bir kısmını kapsayan, yanıcı ve yakıcı madde taşıyan tanklardan oluşan kısımdır.

Uzay Mekiği aracının orijinal versiyonunun basitleştirilmiş taslağı. Orta menzilli jet lineer boyutuyla delta kanatlı mekik aracı, dikey olarak iner, yatay olarak bir planör gibi süzülür, yeniden kullanılabilir, kargo taşıyabilir. Uzay mekiği bu özellikleriyle uzay aracı+uçak bütünleşiğidir.

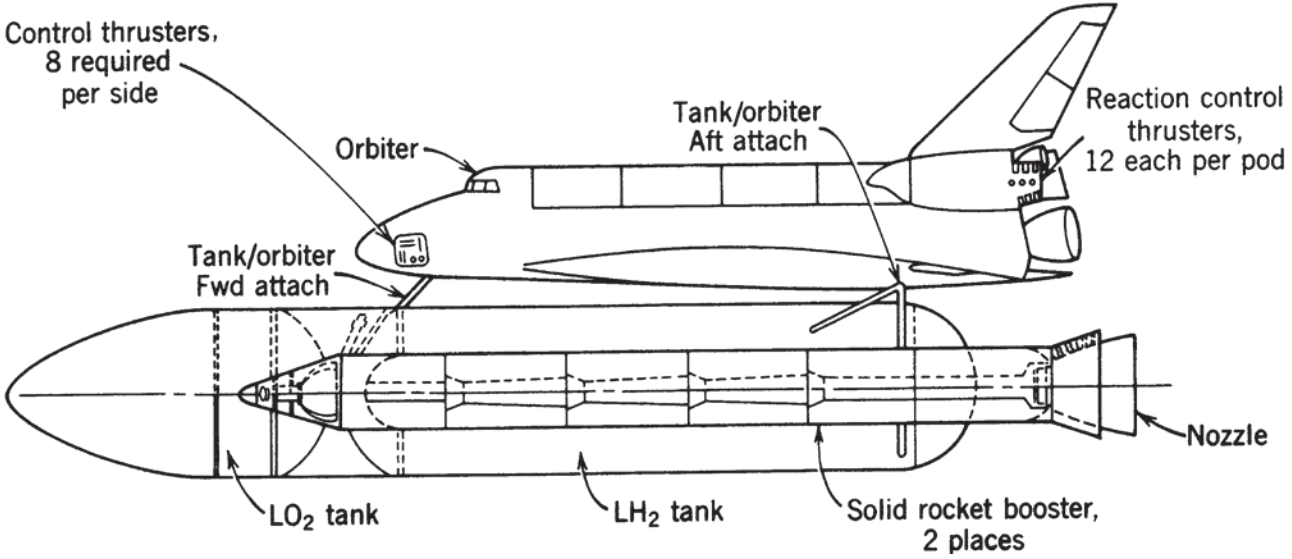


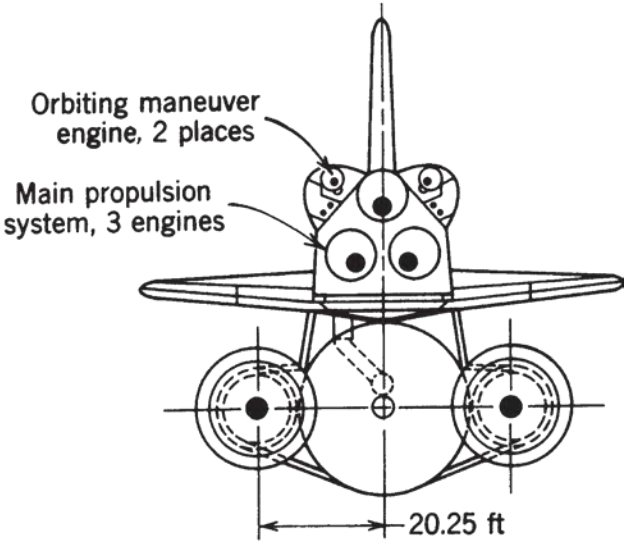
Her bir fırlatılışı, en az 100 görev için tasarlanmış ve alçak Yer yörüngesine kadar 65.000 lb (1 lbs=454 gr) yük taşıyabiliyor ve dört mürettebattan 10 yolcuya kadar taşıyabiliyor. Dünya'ya 25.000 lb kadar yükle geri dönebilir.




Thrust termination port, 2 places each
Forward separation rocket engines, 2 places
Solid rocket booster
External tank
Aft separation rocket engines, 2 places



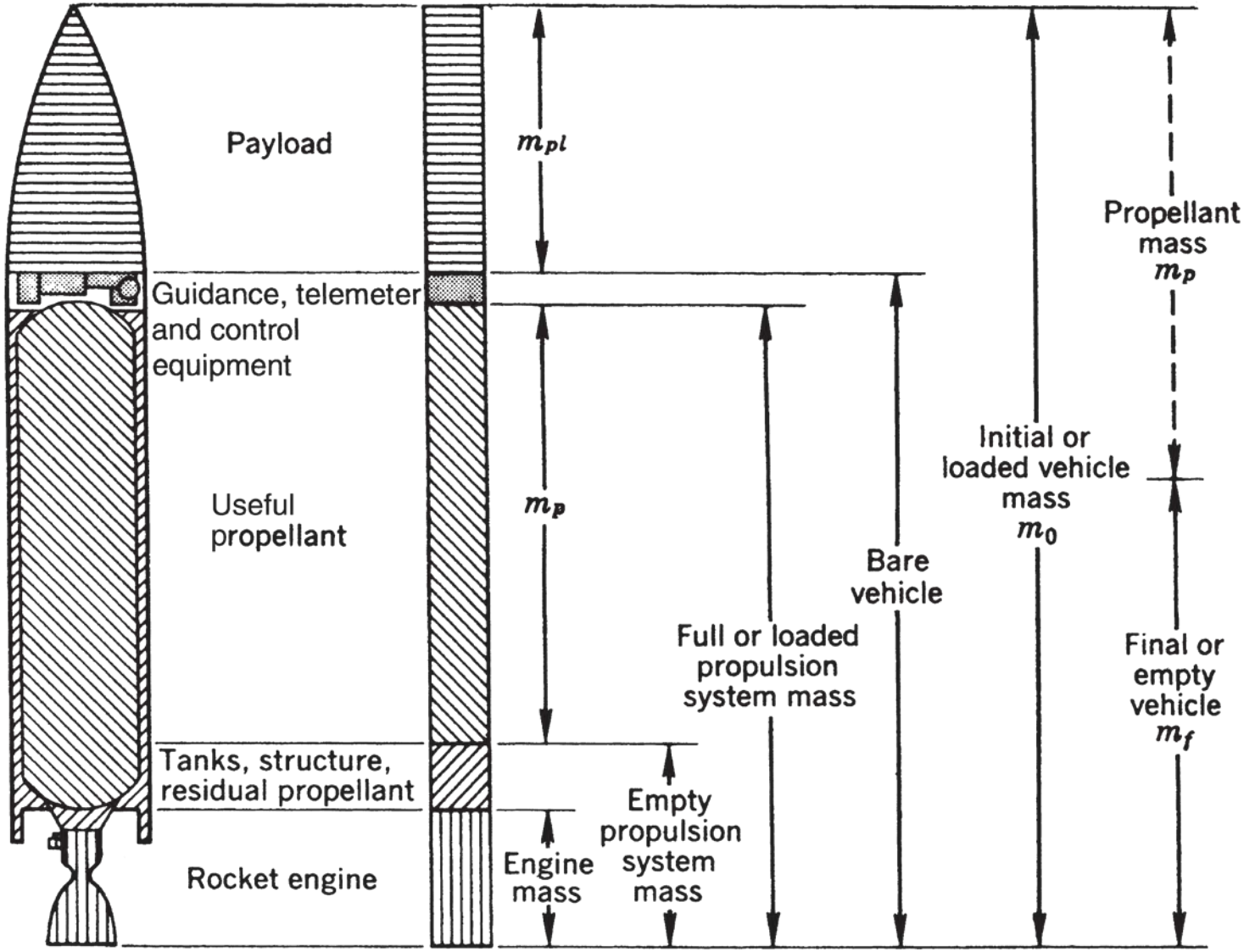

Control thrusters, 8 required per side
Orbiter
Tank/orbiter Aft attach
Reaction control thrusters, 12 each per pod
Tank/orbiter Fwd attach
Nozzle
LO_2 tank
LH_2 tank
Solid rocket booster, 2 places


Orbiting maneuver engine, 2 places
Main propulsion system, 3 engines
20.25 ft

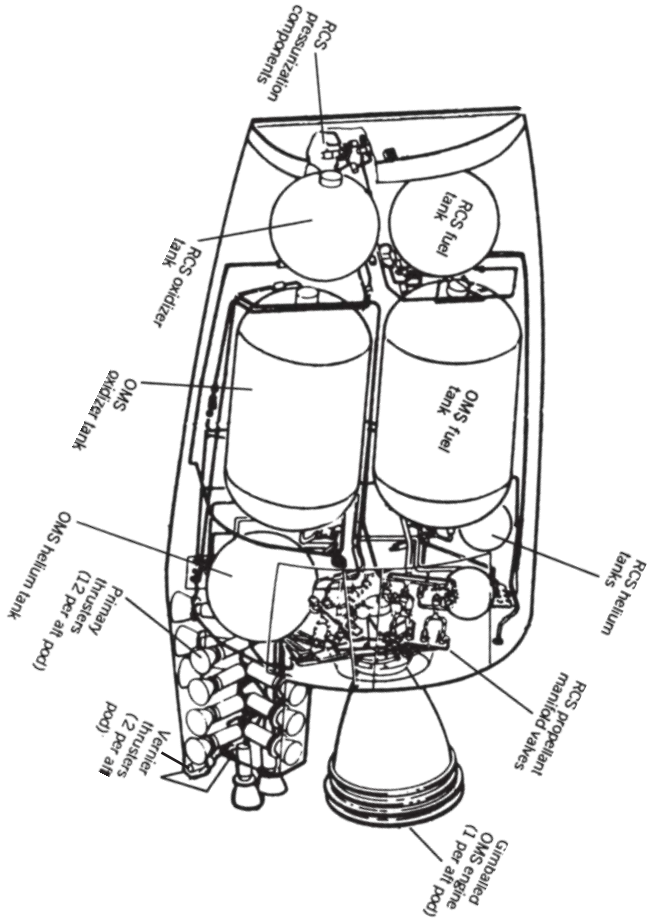
3. Roket motoru ve meme

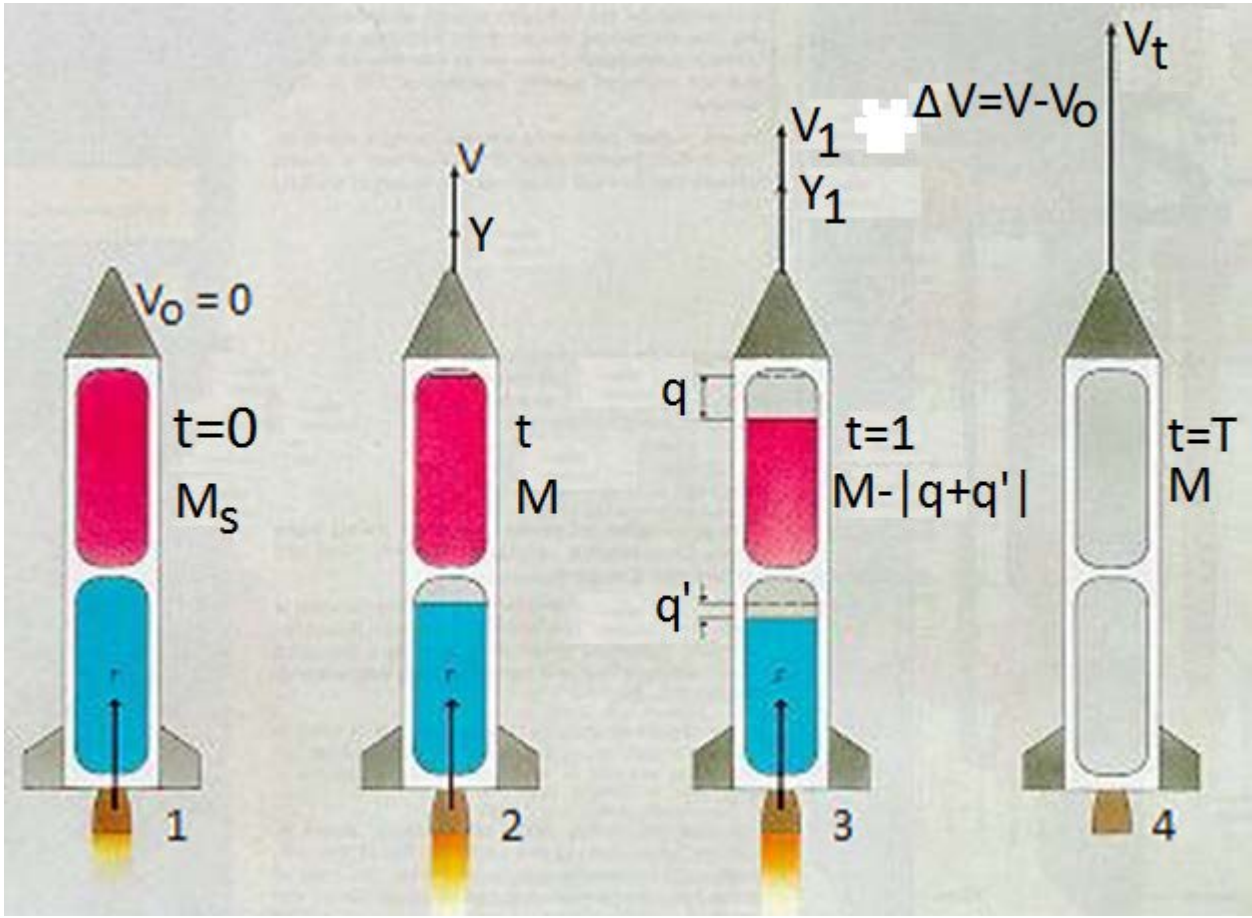
Yanıcı ve yakıcı maddelerin yanmasını kontrol eden ve oluşan ısı ve gazı dış ortama aktaran mekanizmaların hepsine birden roket motoru denir. Meme ya da Egzoz denen kısım roketin en alt kısmında bulunan, ilerlemeyi (itimi) ve yön değiştirmeyi sağlayan hareketli yada hareketsiz bacadır.

Yer atmosferi içerisinde roketlerin hız kazanmasını sağlayan olay, kimyasal bir olay olan yanmadır. Dolayısıyla bu tür roketlere Kimyasal Roketler adı verilir. Bütün askeri füzeler, yörüngeye uydu taşıyan roketler kimyasal roket kapsamına girer. Çünkü sistemi hareket ettiren güç, yanıcı ve yakıcı maddelerin yanması sonucunda elde edilen gazın itme kuvvetidir.



Çeşitli araç kitlerin tanımları. Sıvı ve katı yakıtlı roket motorlar için sırasıyla "roket motoru, tanklar ve yapılar" ve "roket motor ağzı, ısı yalıtımı ve kasa" şeklindedir.





Basit bir roketin kaba yapısı

Bir Roket Yakıtından İstenilen Özellikler

1. Yanma hızının sabit olması
2. Yanma sırasında bölgesel patlamalar yapmaması
3. Özgül ısısının yüksek olması
   (1gr yakıt yandığı zaman, daha çok kalori verenin özgül ısısı daha yüksek olur)

4. Zehirli ve aşındırıcı-korrozif olmaması (korrozyon: Bir metalin paslanarak zamanla parçalara ayrılıp dökülerek yok olma olayıdır. Buna sebep olan maddeler korrozif maddelerdir. Nem ve tuz gibi)
5. Buhar basıncının düşük olması (katı yakıtlarda buhar basıncı çok düşüktür)
6. Donma noktasının düşük olması
7. Kolay elde edilmesi ve ucuz olması

Yakıtlar için kalite indeksi

$$Q = gV_e^2$$

denklemiyle verilir. Burada

Q : kalite indeksi

g : yakıtın yoğunluğu

V_e: egzoz hızı

Kimyasal Roketler, kullandıkları yakıt türüne göre ikiye ayrılırlar:

1. Katı Yakıtlı Roketler
2. Sıvı Yakıtlı Roketler

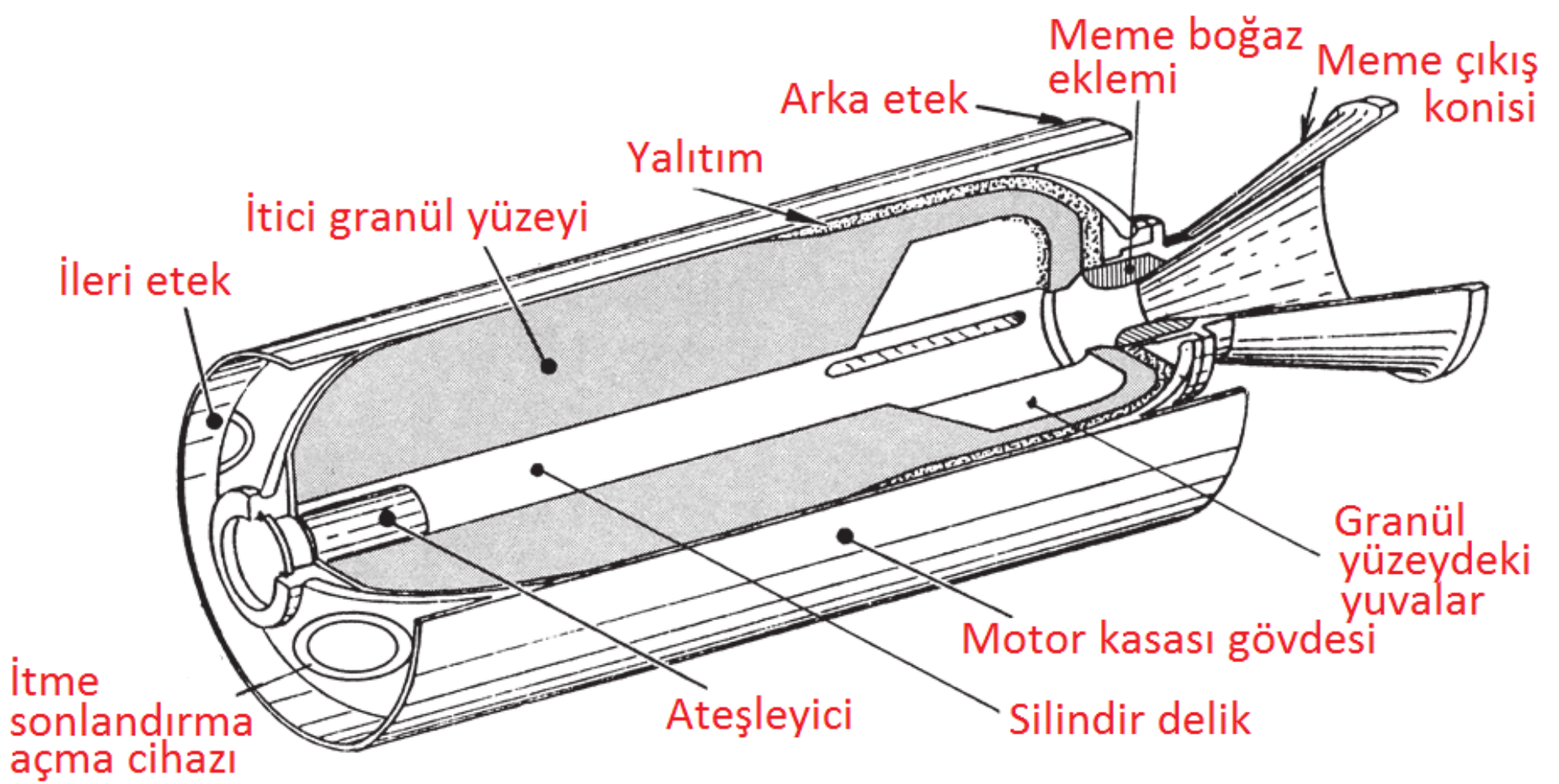
Katı Yakıtlı Roketler

Bu roketlerin en güzel yanı basit yapıda olmalarıdır. Genelde yakıt tankları bir tanedir. Roket basit olarak üç kısımdan oluşmaktadır. Birincisi yük (uydu veya patlayıcı), ikinci kısım yanıcı ve yakıcı maddenin bir arada bulunduğu tek bir yakıt tankı, üçüncü kısım ise egzoz. Genelde atmosfer içinde veya atmosferin üst kısımlarına yük taşımak amacıyla kullanılırlar.

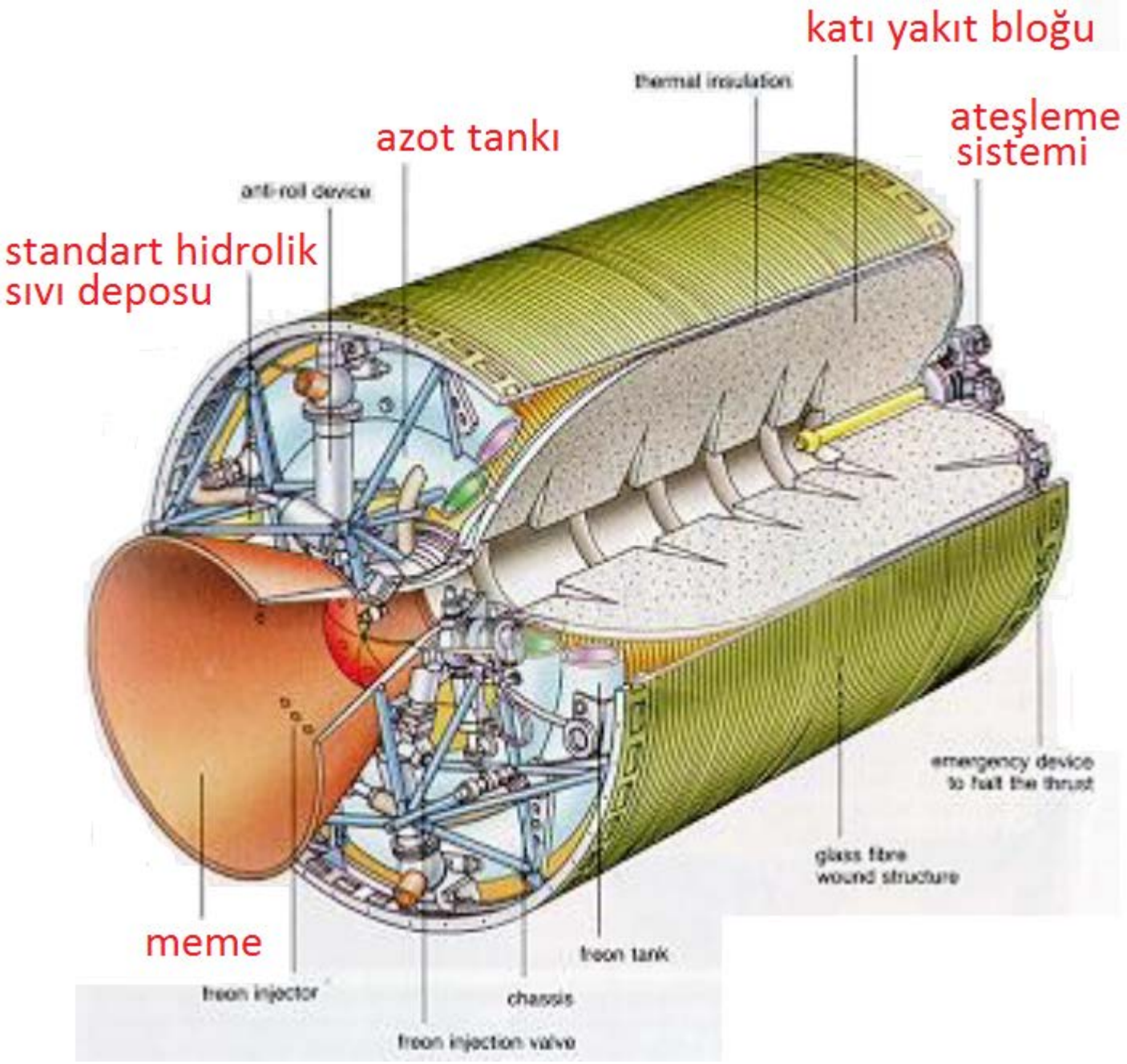
Yakıtın yanmasını sağlayan ve kontrol eden bir motor düzenekleri yoktur. Askeri alanda en çok kullanılan roket türleridir. Hacım ve büyüklük bakımından sıvı yakıtlı roketlere nazaran çok küçük olabilirler. Askeriyede omuz üzerinden tanklara ve uçaklara karşı kullanılan roketler bu tür yakıt kullanırlar. Bunların atmosfer içinde havanın direncinden dolayı rotalarından çıkmamaları için daha büyük kanatları vardır.

Katı yakıtlı roketlerde yanıcı ve yakıcı madde mümkün mertebede homojen olarak karıştırılarak bir arada bulunmaktadır. Bu nedenle eğer karışım homojen olmazsa roketin yanma odasında ve egzoz çıkışında bölgesel patlamalar meydana getirmekte, böylece roketin hızı düzenli olamamaktadır. En büyük avantajları ise itme gücünün yüksek olmasıdır.

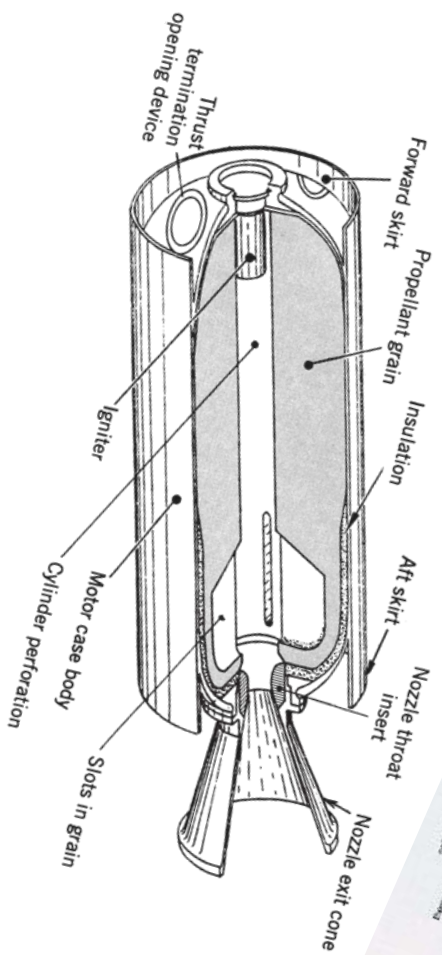
Sıvı yakıtlılardan iki kat daha büyük bir itme gücü sağlarlar. Egzoz ısıları çok yüksek olduğundan, yakıt tankı ve egzozun çok sağlam olması gerekir. Bazı roketlerde egzozu soğutan bazı ek düzenekler vardır. Roketin hızını ve yanma hızını kontrol eden bir düzenek yoktur. Ek düzeneklerin olmaması roketin yükünü azalttığı için bir yerde avantaj olarak kabul edilebilir.

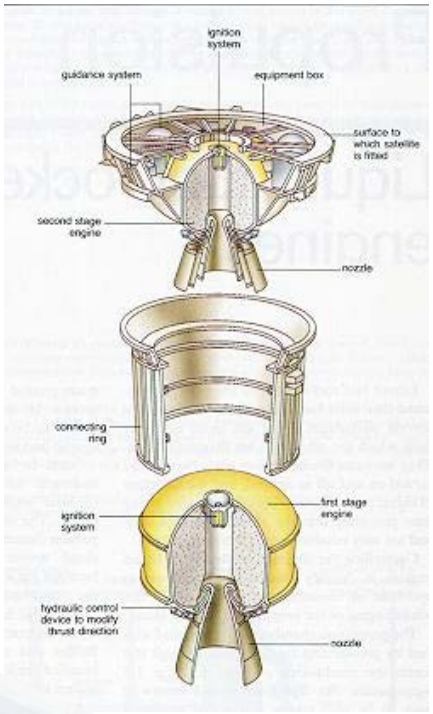


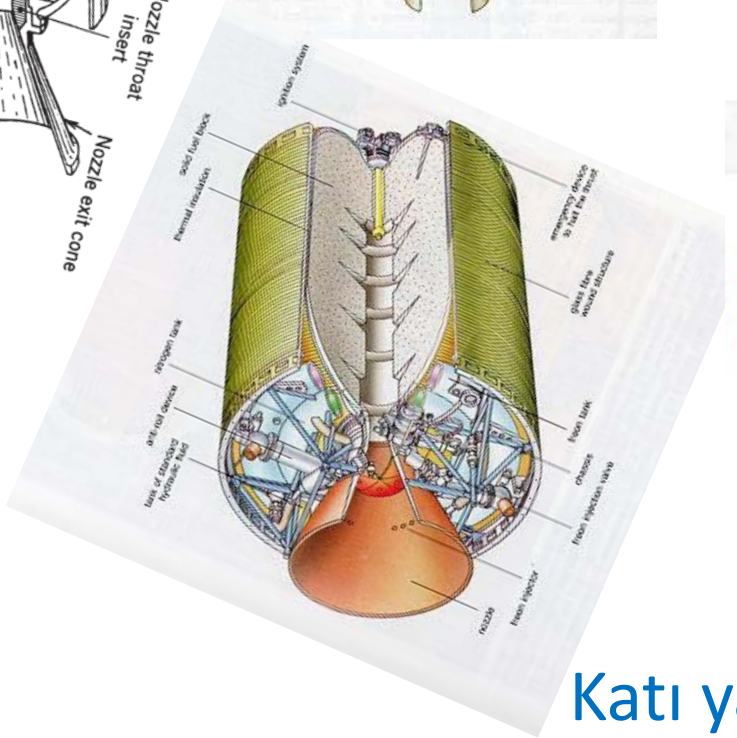
İtici kısmı kasaya ve izolasyon katmanına ve konik egzoz ağzına bağlı olarak tipik bir **katı itici roket motoru**nun basitleştirilmiş perspektif çeyrek kesiti. Ön ve arka tarafı yarı küresel kubbeli silindirik kutu, **yanma odası** basıncını barındırmak için basınçlı bir kaptan oluşmuştur.

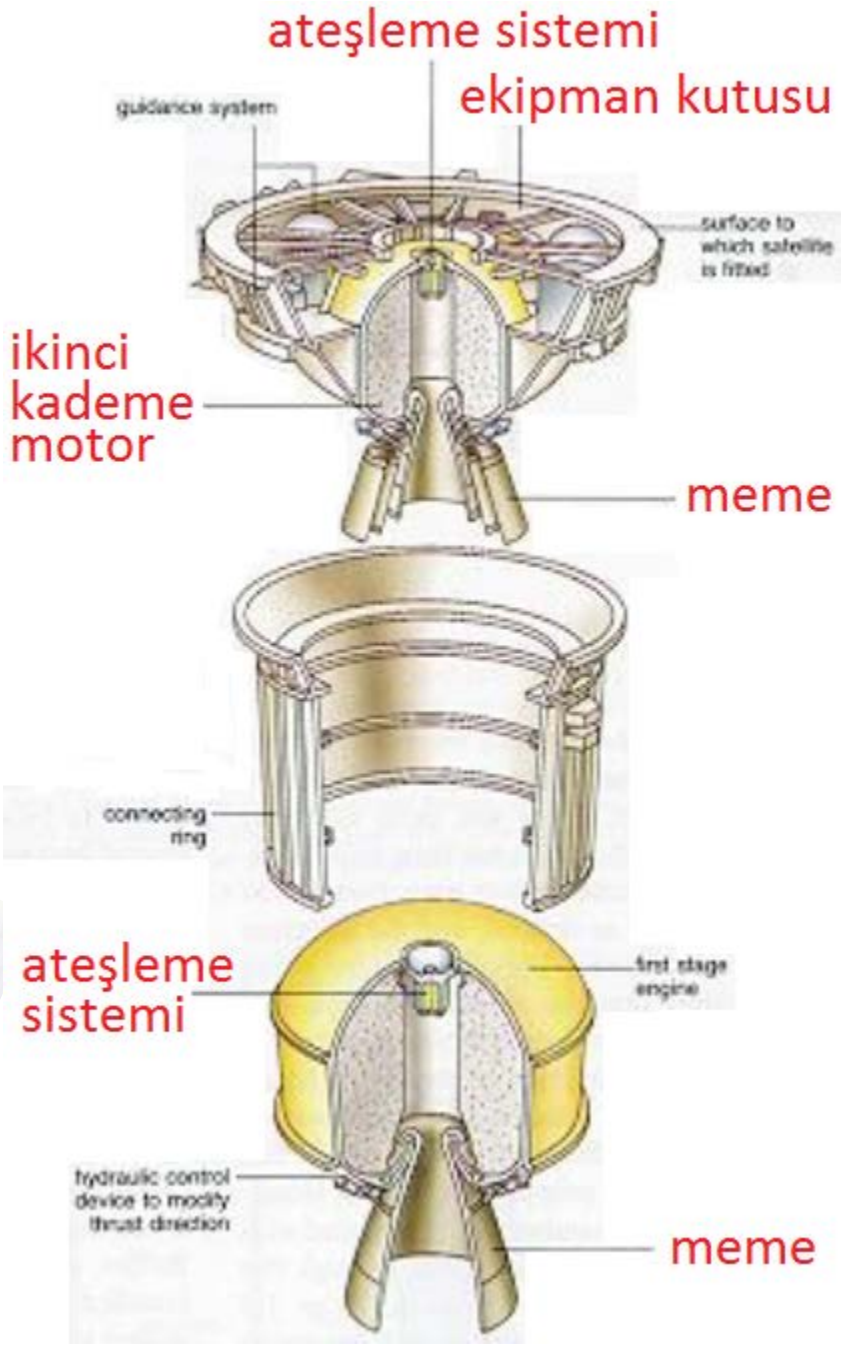


Katı yakıtlı bir roketin yakıt bölgesi









Katı yakıtlı bir roketin egzoz bölgesi

Katı yakıtlı roketlerde birçok katı yakıt türü kullanılmasına rağmen, genellikle aşağıdaki iki karışım tercih edilir.

1. İçine çeşitli maddeler katılarak patlama gücü iyice azaltılmış nitrogliserin
2. Amonyum Nitratla karıştırılmış, sentetik lastik.

Katı Yakıtlı Roketlerin Avantajları

1. Yakıtın ucuzluğu ve kolay elde edilmesi tercih nedenidir.
2. Kaldırma kuvvetleri ve hızları çok yüksektir. Bu nedenle askeri roketler genelde katı yakıtlıdırlar. Kısa sürede hedefe ulaşırlar, düşman füzeleri tarafından yakalanması ve düşürülmeleri zordur.

3. Amaca göre farklı büyüklüklerde üretilebilirler (omuz üzerinden, uçaktan ve rampa kullanılarak atılabilecek büyüklüklerde olabilirler)
4. Öz itmeleri 250-300 saniye dolayındadır (öz itme: roket motorunun 1 saniyelik çalışması ile yakılan yakıtın bir pound'tan (yaklaşık 0.5kg) elde edilen itme kuvvetinin süresi)
5. Taşıdıkları yakıt, hedef yükün 20 katına kadar çıkabilir.
6. Taşınmaları ve saklanmaları kolaydır.

7. Her zaman ateşlemeye hazır durumda tutulabilirler. Yakıt yüksek basınç altında saklanır.
8. Yanma süreleri kısadır, bu yüzden yüksek egzoz basıncı oluştururlar. Egzoz sıcaklıkları yaklaşık 3000 °C'dir.
9. Genelde tek kademeli roketlerdir ve tek bir hedef yükü taşırlar.
10. Üretilmeleri basit ve ucuzdur. Sadece yüksek sıcaklık ve basınca dayanıklı bir döküm ve uygun bir kaplamaya ihtiyaç duyarlar.

11. Egzoz soğutması ek bir düzenek gerektirmez. Grafit kullanılarak ısının emilmesi sağlanır.
12. Sıvı yakıtlı roketlere nazaran daha güvenlidirler.
13. Yanma basınçları 1000-2000 Newton'dur.
14. Parçalı roketlerin ilk ateşlenen kısımlarında ve kademeli roketlerin birinci bölümünde kullanılırlar.

Katı Yakıtlı Roketlerin Dezavantajları

1. Yanma hızı kontrol edilemediğinden, rokette birden fazla egzoz bulunur. Bu da itme gücünden kayba neden olur.
2. Yakıt homojen olarak imal edilmediyse, yanma odasında ve egzozda tahribata ve hedef sapmasına yol açar (yakıt için bir vana ve pompa sistemleri yoktur.)
3. Roket ateşlendikten sonra durdurulamaz.

Sıvı Yakıtlı Roketler

Yakıt tankları iki kısımdan oluşan, büyük hacimli ve ağır roketlerdir. Roket gövdesinde yanıcı ve yakıcı sıvı tankları bulundururlar.

Yakıcı Türleri

- Nitrik asit (HNO_3)
- Nitrojen peroksit (N_2O_4)

  (azot peroksit)
- Flor (F_2)
- Oksijen (O_2)

Yanıcı Türleri

- Sıvı Hidrojen (H_2)
- Kerosene ($CH_{1.953}$)

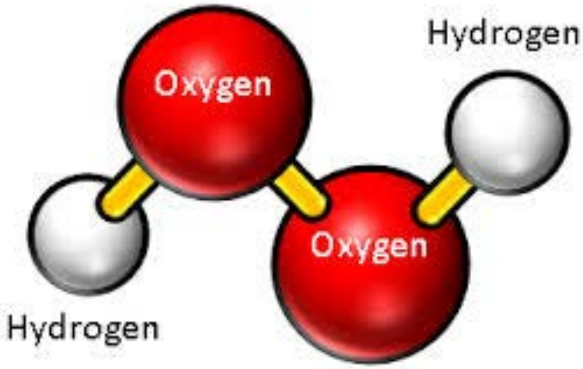
  (parafin oil)
- Hidrazin (N_2H_4)
- Propan (C_3H_8)
- Metan (CH_4)
- Hipergolik yakıtlar:

  MMH (monometilhidrozin)

  UDMH [antisimetrik dimetilhidrozin, $N_2H_2(CH_3)_2$]

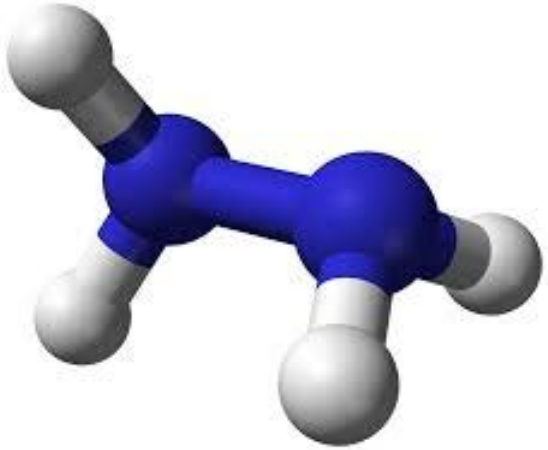
Hidrojen peroksit (H_2O_2)

Kullanıldığı zaman platin bir katalizör yardımıyla hidrojen ve oksijene ayrıştırılır. Daha sonra yanma odasında yakılır. Kullanımı ve depo edilmesi zor bir yakıt olduğundan sınırlı bir kullanım alanı vardır. Uyduların küçük yörünge düzeltmelerinde kullanılır.





Hidrazin (N_2H_4)



Genelde hidrojen ve azot karışımıdır. Uygun bir katalizör yardımıyla sıcak azot ve hidrojen birbirinden ayrılır. Daha sonra oksijen ve flor ilave edilerek yanma sağlanır. Bu yakıt genellikle Ay'a ve gezegenlere giden insansız uydularda yön değiştirmek ve yörüngeye yerleştirmek için kullanılır. Bazı Rusya yapımı roketler ilk ateşlemede bu yakıtı kullanırlar.

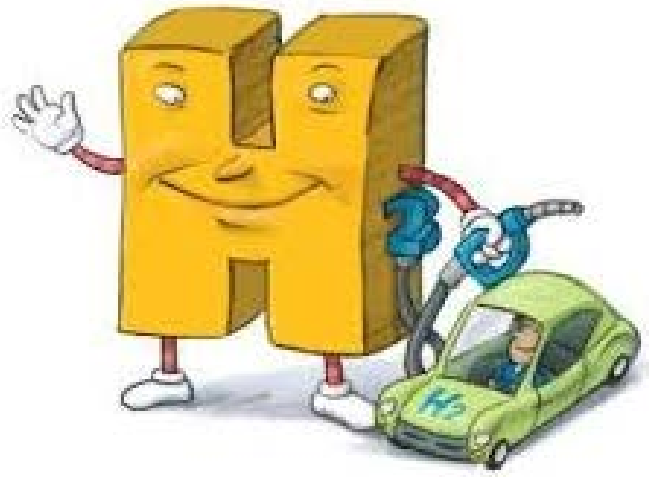


Kerosen, Oksijen, Hidrojen ($CH_{1.953}$, O_2, H_2)

En çok kullanılan yakıtlardır. Bu yakıtı kullanan roketlerin en büyük sorunu H ve O 'in depolanma sorunudur. Depoda çok düşük sıcaklıklarda bulunmak zorundadırlar. Aksi takdirde hemen gaz haline geçerler. Depoda sıvı halde tutulurlar. Depoların yüksek basınca dayanıklı ve ısıya karşı iyi yalıtılmış olmaları gerekir.







Hipergolik yakıtlar

Kaliteli olmalarına karşın zehirli ve korozen maddelerdir. Kademeli roketlerin ikinci ve üçüncü kısımlarında kullanılır. Neden ilk ateşlemede kullanılmazlar? Çünkü, hipergolik yakıtlarda yanıcı ve yakıcı madde bir araya geldiğinde bir ateşleme tertibatına gerek kalmadan kendiliğinden tutuşurlar. Yakıcı olarak genelde azottetraoksiti kullanırlar. Delta, Atlas ve Thor roketlerinin ikinci kademe yakıtıdırlar.



Sıvı Yakıtlı Roketler

Yakıt tankları iki kısımdan oluşan, büyük hacimli ve ağır roketlerdir. Roket gövdesinde yanıcı ve yakıcı sıvı tankları bulundururlar.

Yakıcı Türleri

- Nitrik asit (HNO_3)
- Nitrojen peroksit (N_2O_4)

  (azot peroksit)
- Flor (F_2)
- Oksijen (O_2)

Yanıcı Türleri

- Sıvı Hidrojen (H_2)
- Kerosene ($CH_{1.953}$)

  (parafin oil)
- Hidrazin (N_2H_4)
- Propan (C_3H_8)
- Metan (CH_4)
- Hipergolik yakıtlar:

  MMH (monometilhidrozin)

  UDMH [antisimetrik dimetilhidrozin, $N_2H_2(CH_3)_2$]

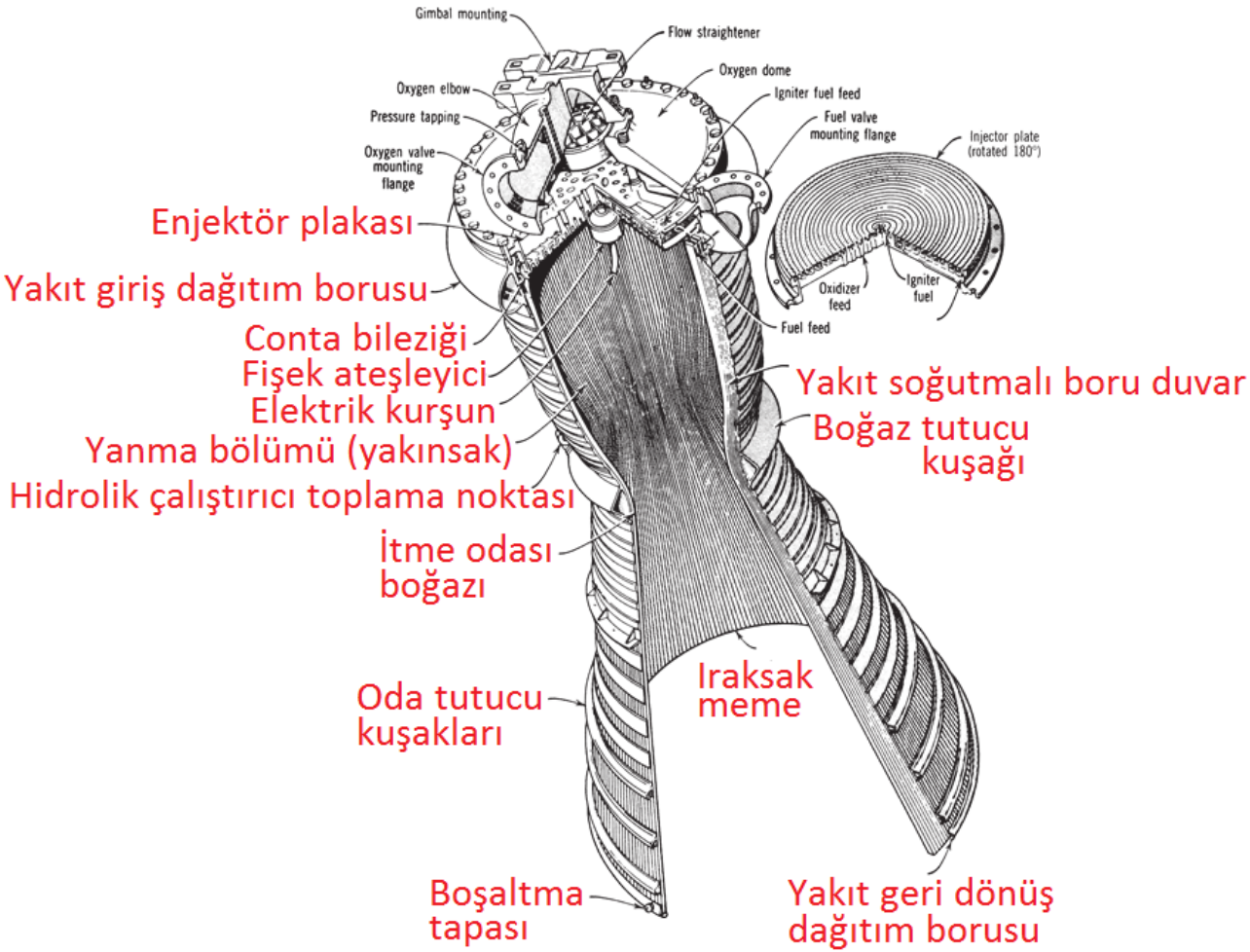
YAKICI (OKSİDAN)					YANICI			
	Nitrik Asit	Azot Peroksit	Oksijen	Florin	Hidrojen	Kerosene (Parafin Yağı)	Hidra-zin	UDMH
Kimyasal Formül	HNO_3	N_2O_4	O_2	F_2	H_2	CH1.953	N_2H_4	$N_2H_2(CH_2)_2$
Moleküler Ağırlık (Atomik Kütle Birimi)	63	92	32	38	2		32	60
Donma Noktası (°C)	-41.6	-11.2	-219.9	-219.5	-258.75	-50	1.53	-57.2
Kaynama Noktası (Deniz Seviyesinde,°C)	84.1	21.15	-183	-188	-252.76	180-255 arasında saflaşır	113.5	63.1
Yoğunluk ($\frac{kg}{m^3}$)	1504	1434	1140	1606	71	900	1004	785

Bazı sıvı yakıt türleri

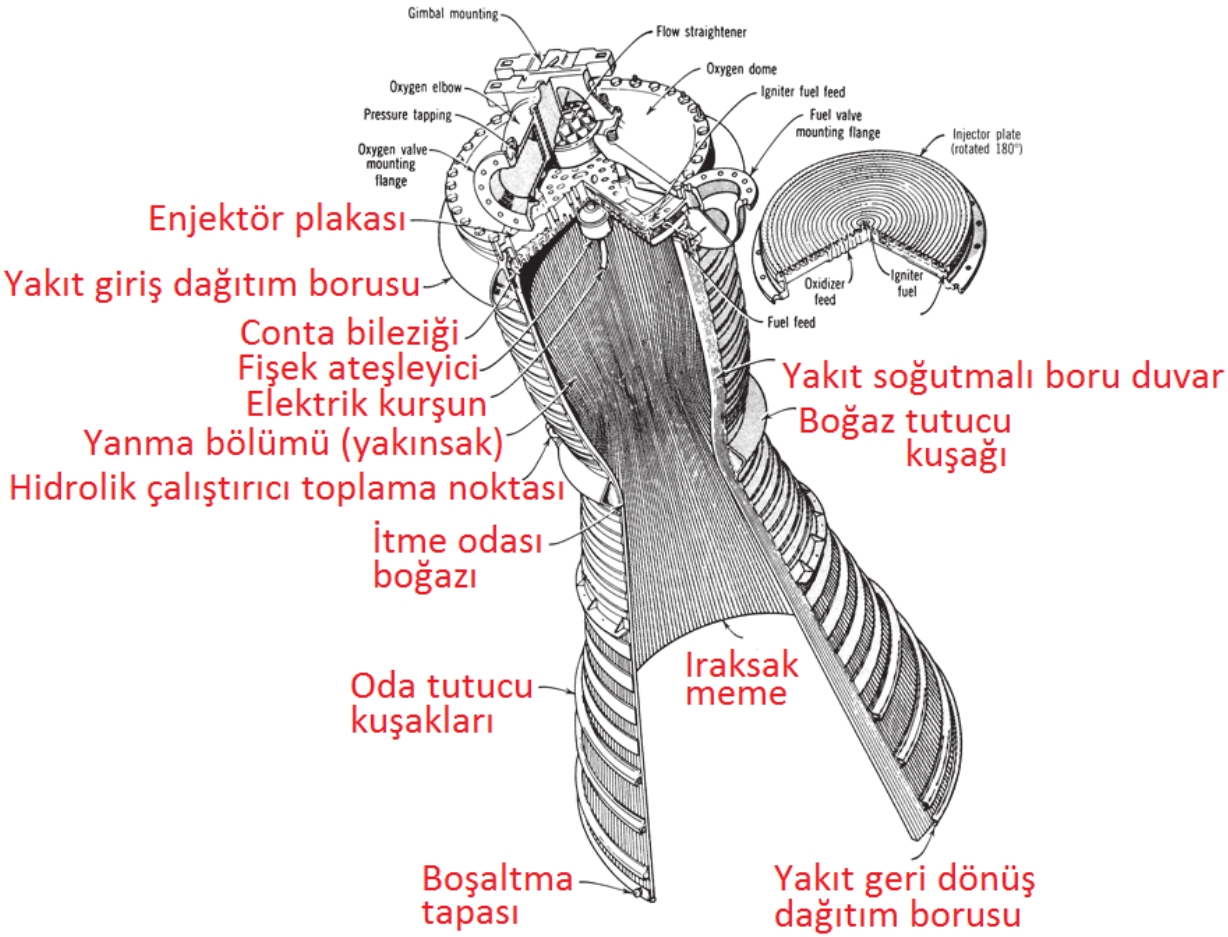
Sıvı Yakıtlı Roketlerin Avantajları

1. Yanma odasında yanma hızı kontrol altında tutulabilir. Yanma odası delikli bir yapıya sahiptir. Deliklerden eşit şiddette püskürtülen madde homojen olarak yakılabilir.
2. Egzoz soğutması bizzat yakıt tarafından yapılır. Yakıt yanma hücresine gelmeden önce egzoz çevresinde dolaştırılarak egzoz soğutulur. Aynı zamanda gaz da ısıtılmış olur.

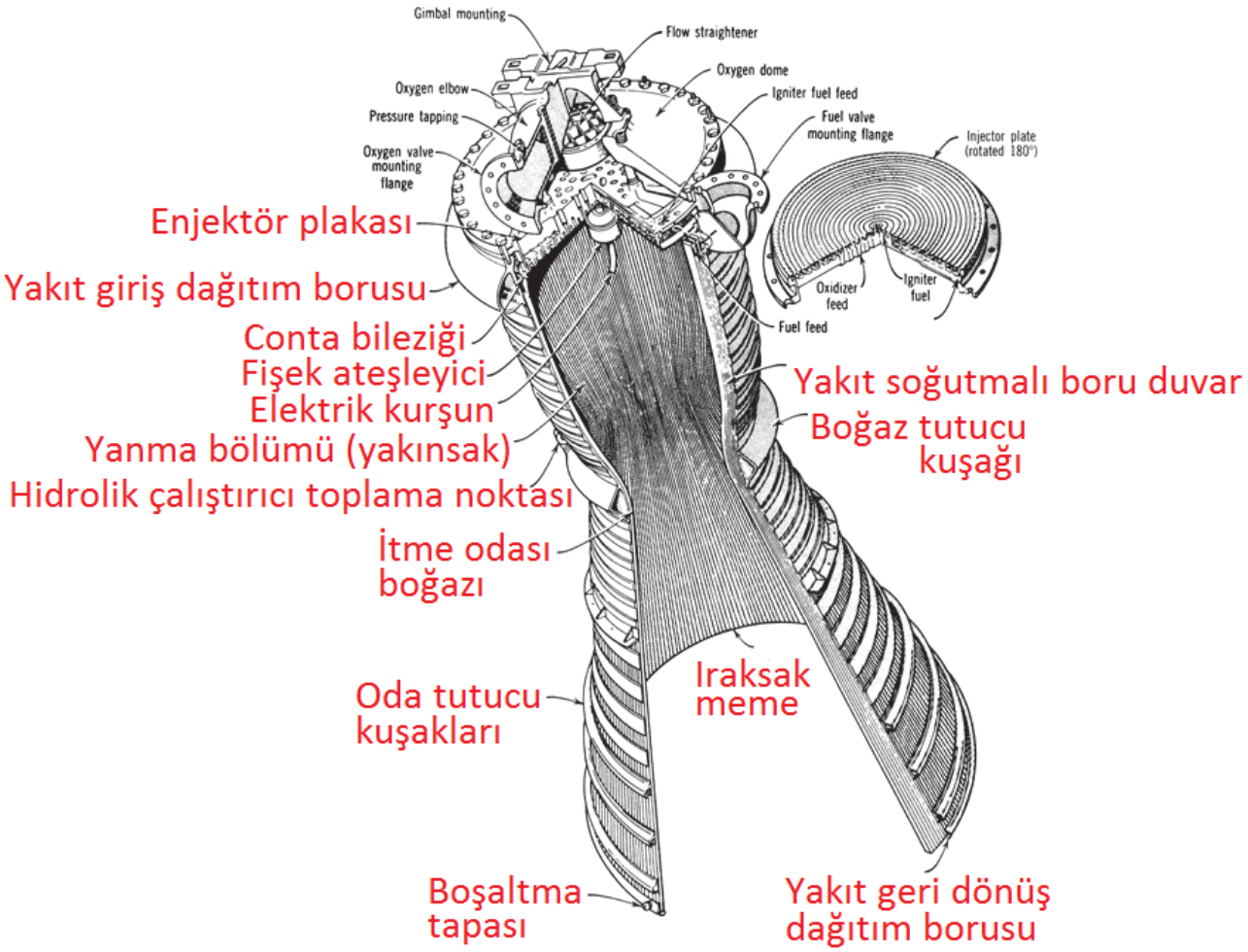
3. Çok kademeli roketler için ideal bir yakıt türüdür. Birden fazla hedef yük taşıyabilirler (örneğin aynı anda iki veya üç uydu, yada birden fazla nükleer yakıt başlığı taşımaları)
4. Yanma süreleri uzundur ve yanma sıcaklıkları 22000 °C'ye kadar çıkabilir.



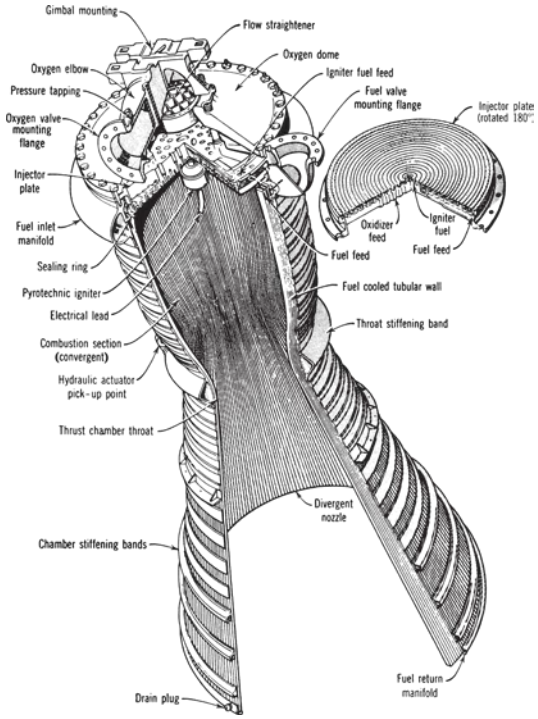
Başlangıçta Thor füzesinde kullanılan kerosen tipi yakıt ve sıvı oksijen kullanarak sürekli olarak soğutulmuş boru şeklinde bir itme odasının yapısı. Ağız kısmının iç çapı yaklaşık 15 inçtir (38.1 cm).

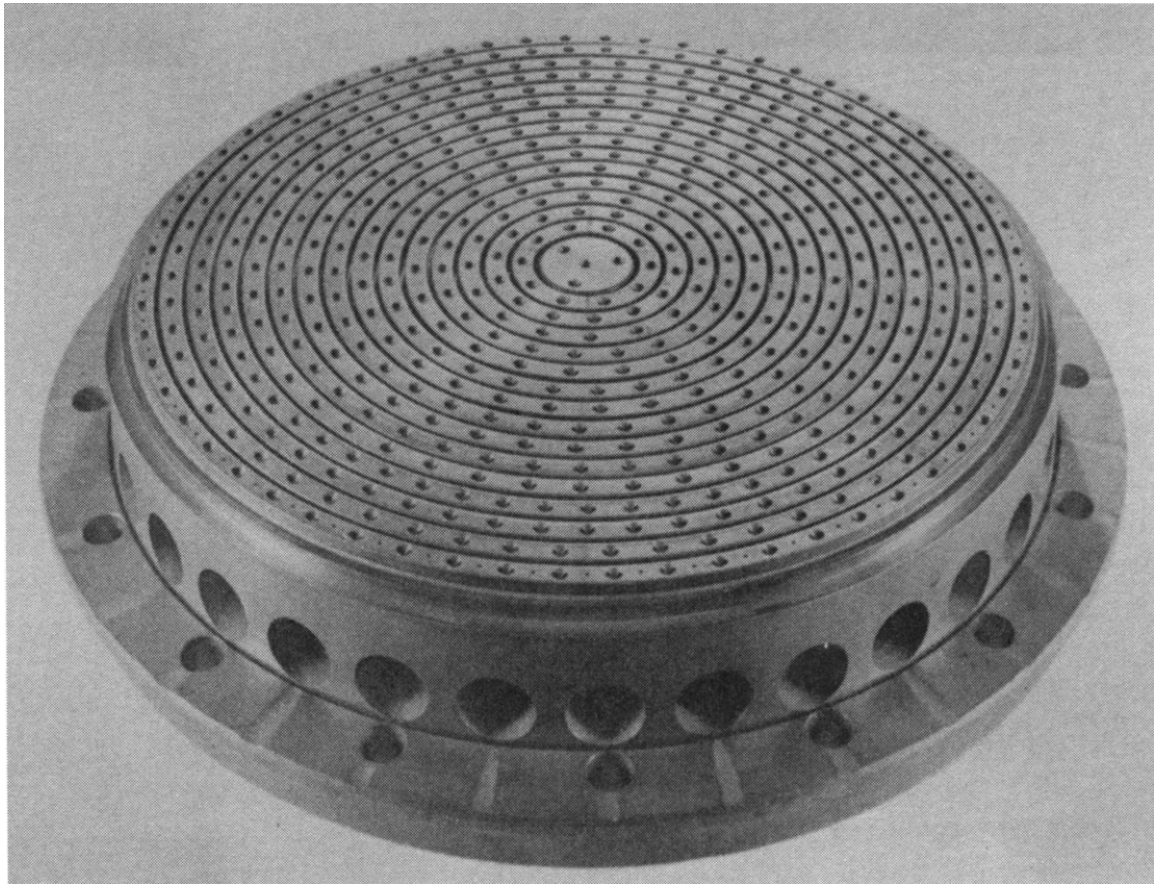


Deniz seviyesinde itme kuvveti başlangıçta 120.000 lbf idi (bir pound-kuvvet = 1 **lbf** = 4.4482216 N; bir ton-kuvvet = 1 tonf = 2240 **lbf**), ancak 135.000, sonra 150.000 ve nihayet 165.000 lbf'ye yükseltildi, bu sırada akış ve odacık basıncını arttırdı ve donanımı güçlendirip değiştirdi.

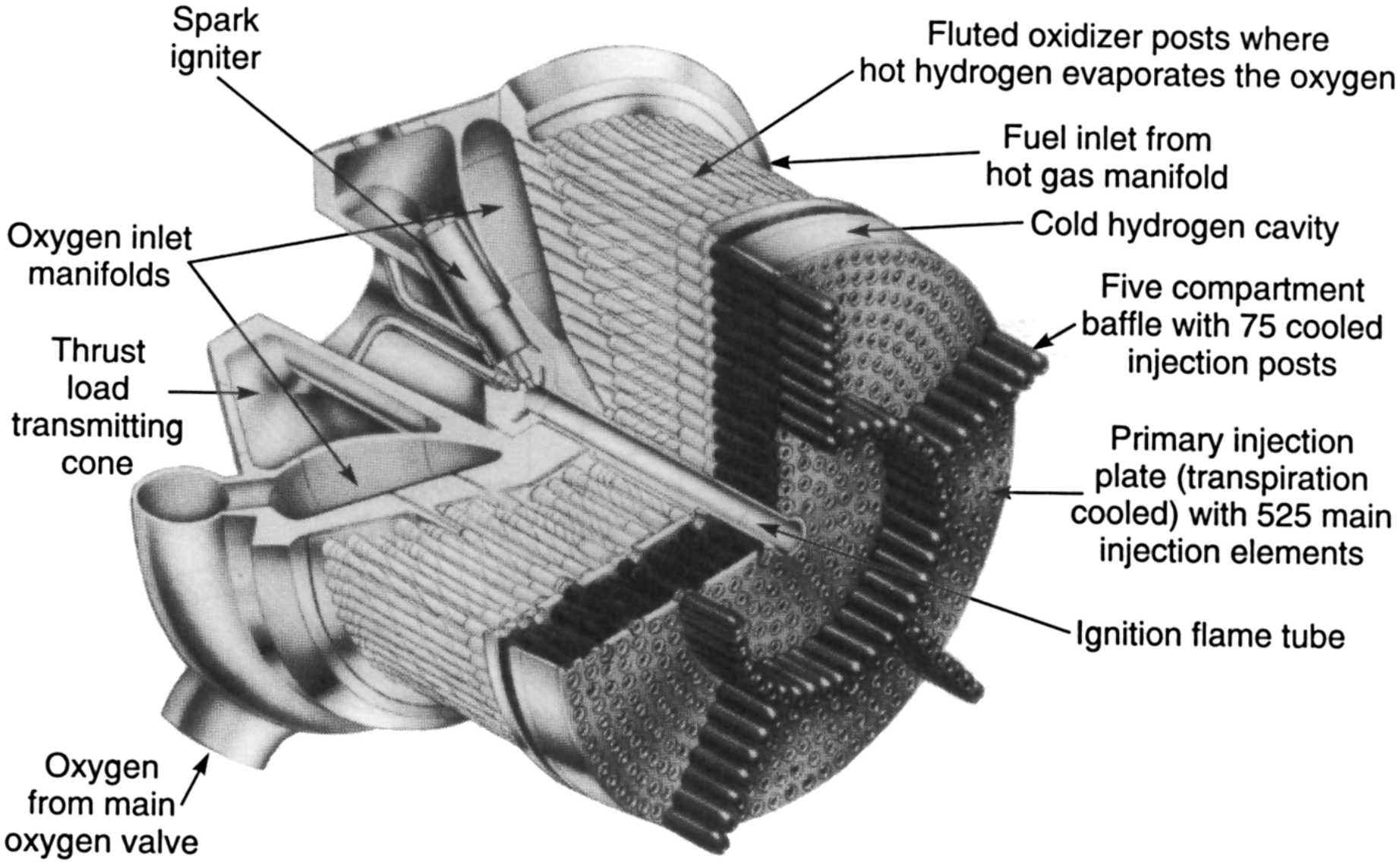


Koni biçimli egzoz çıkışı, çan şeklindeki bir egzoz çıkışı ile değiştirildi. Yakıtın her tüpten nasıl aktığını ve enjektöre gelmeden önce bitişik boru boyunca nasıl döndüğü görülmektedir.

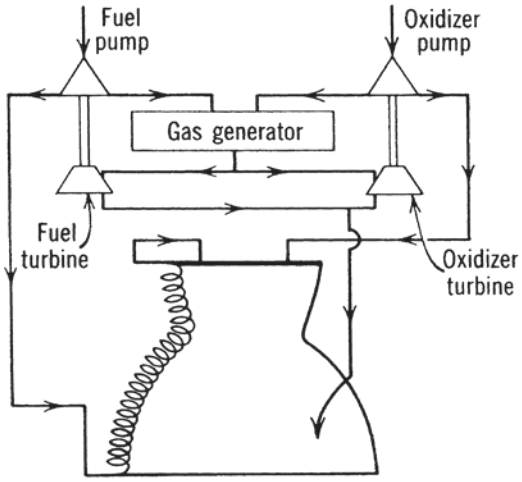




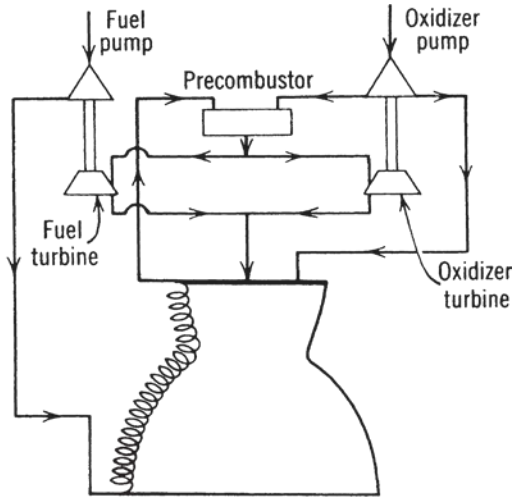
90° kendiliğinden nüfuz eden tava çiftli ikili tipte enjeksiyon kalıbı. Büyük delikler yakıt girişleridir. Delikli halkalar dairesel bir yakıt dağıtım borusu veya oluk ve benzeri bir bitişik oksitleyici dağıtım borusu veya oluk üzerine dönüşümlü olarak lehimlenir.



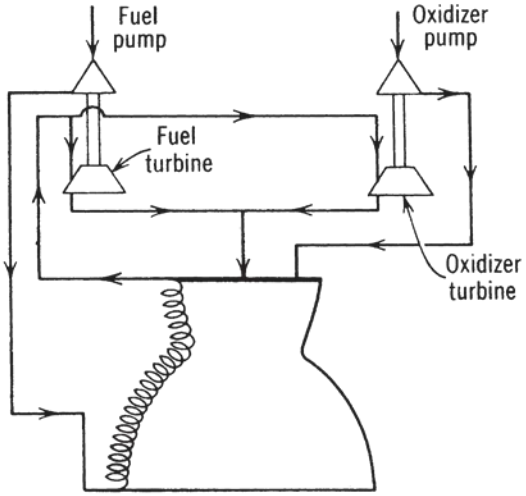
Uzay mekiği Ana Motorunun ana enjektör parçası, beş dış bölme ile birlikte perdeleme gösteriliyor.



GAS GENERATOR CYCLE

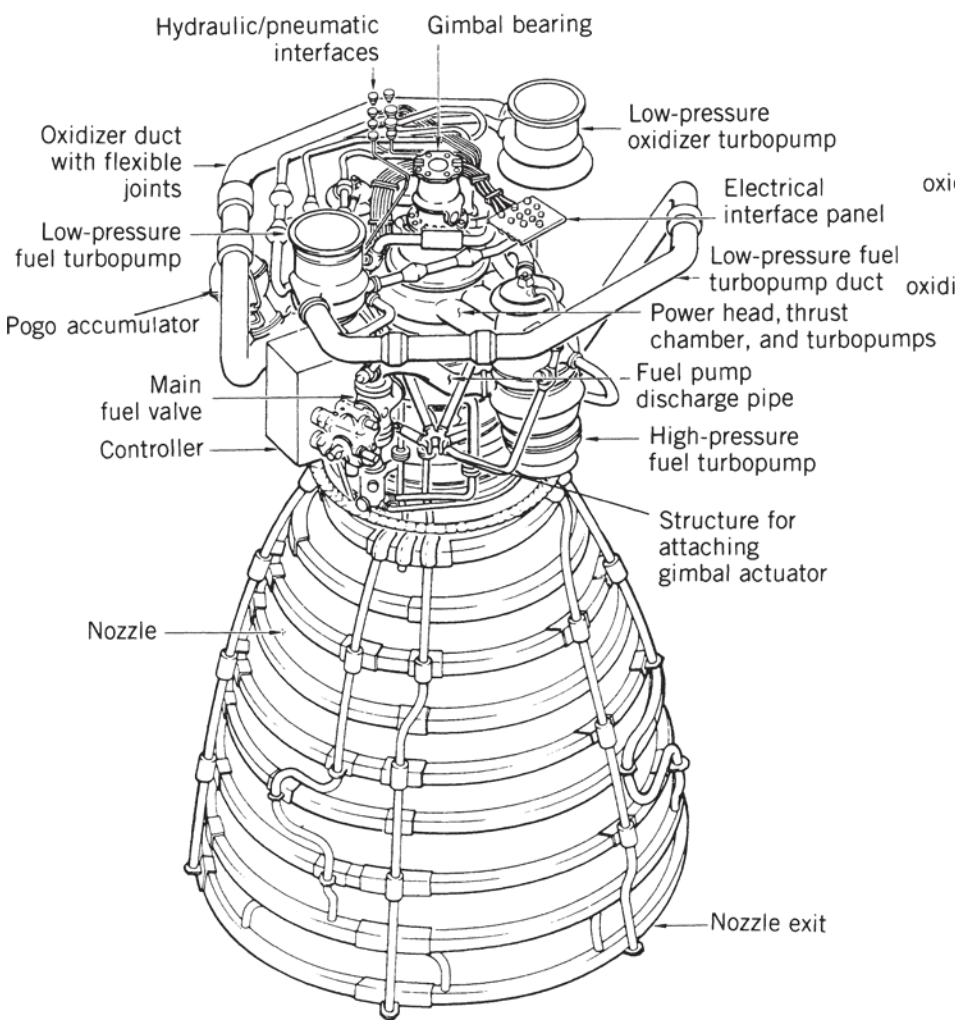


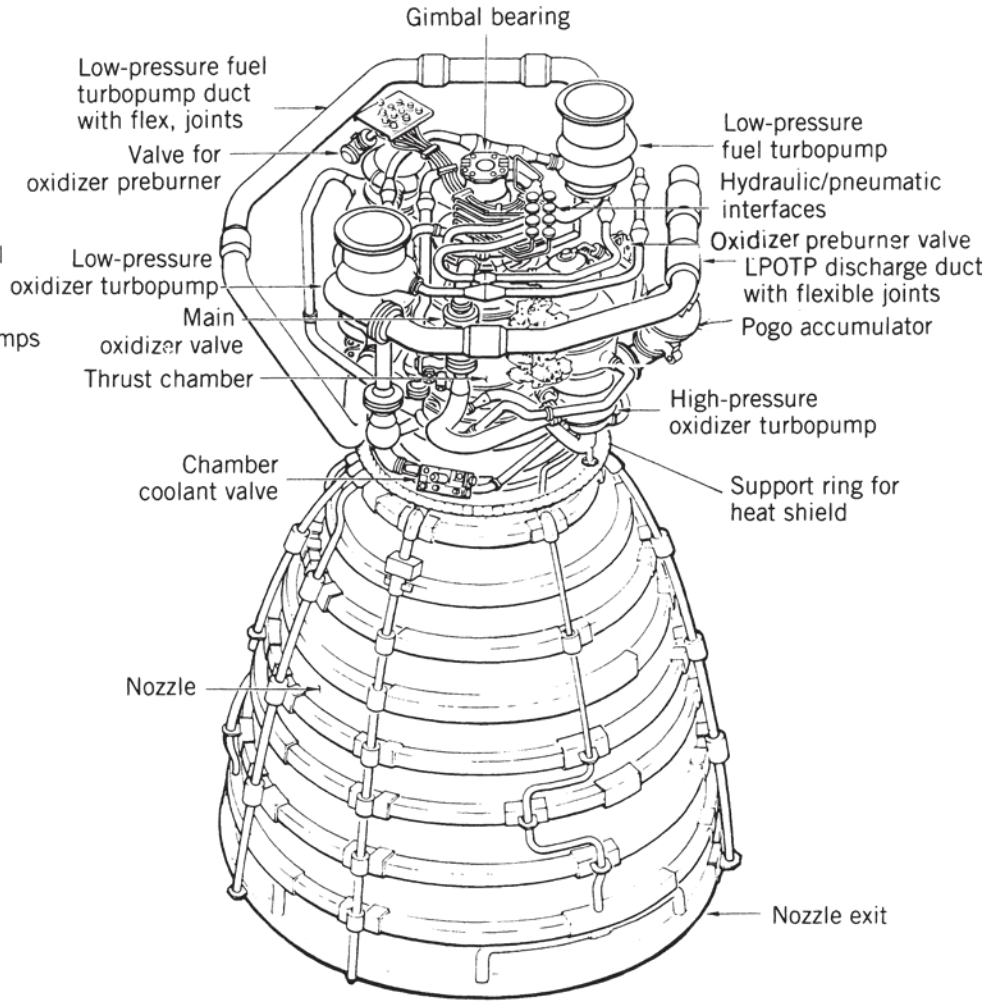
STAGED-COMBUSTION CYCLE



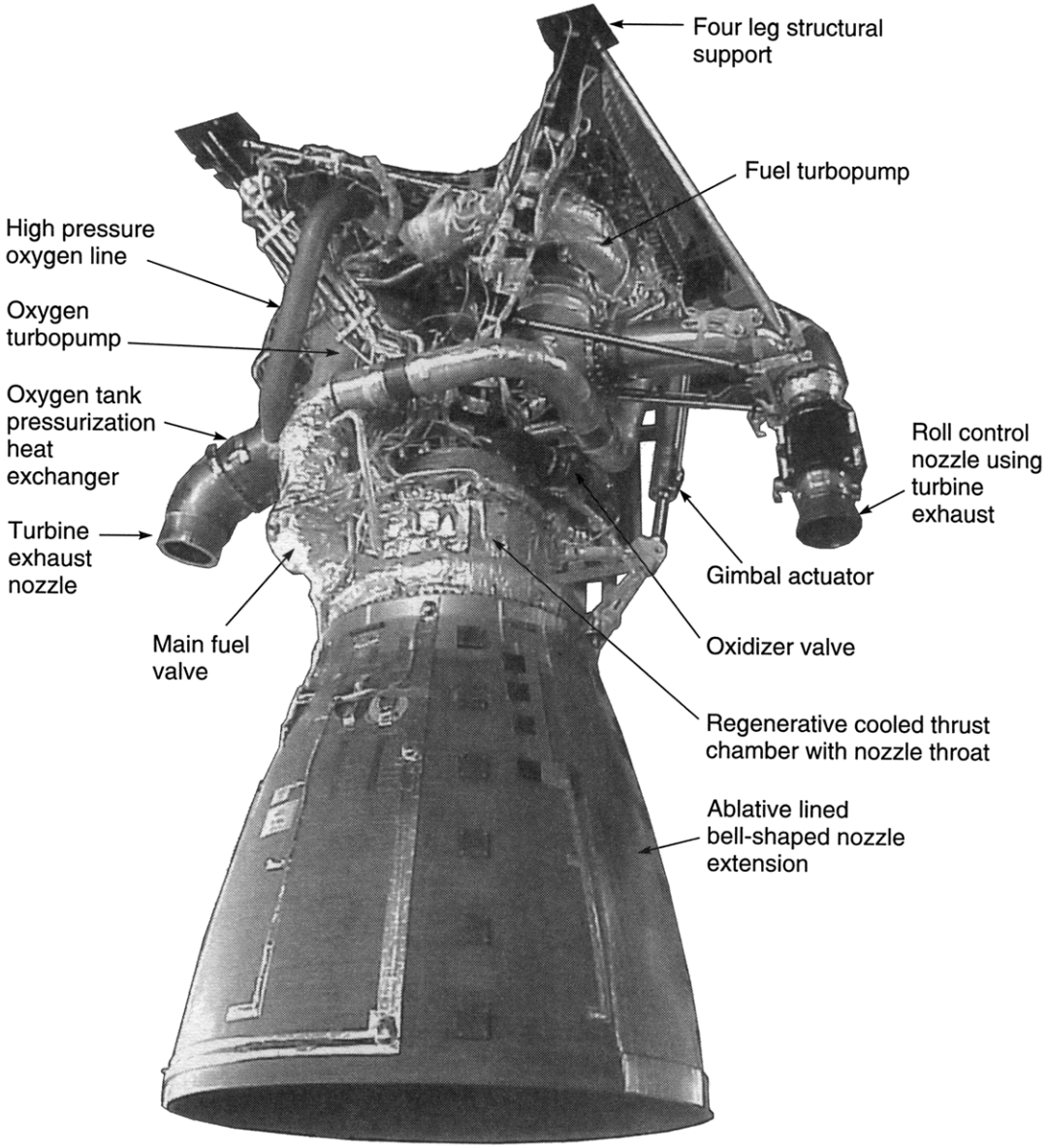
EXPANDER CYCLE

Sıvı itici roket motorları için üç motor çevriminin basitleştirilmiş diyagramları. Spiraller, ısı absorbe edilen eksenel simetrik bir soğutma ceketi için bir simgedir.

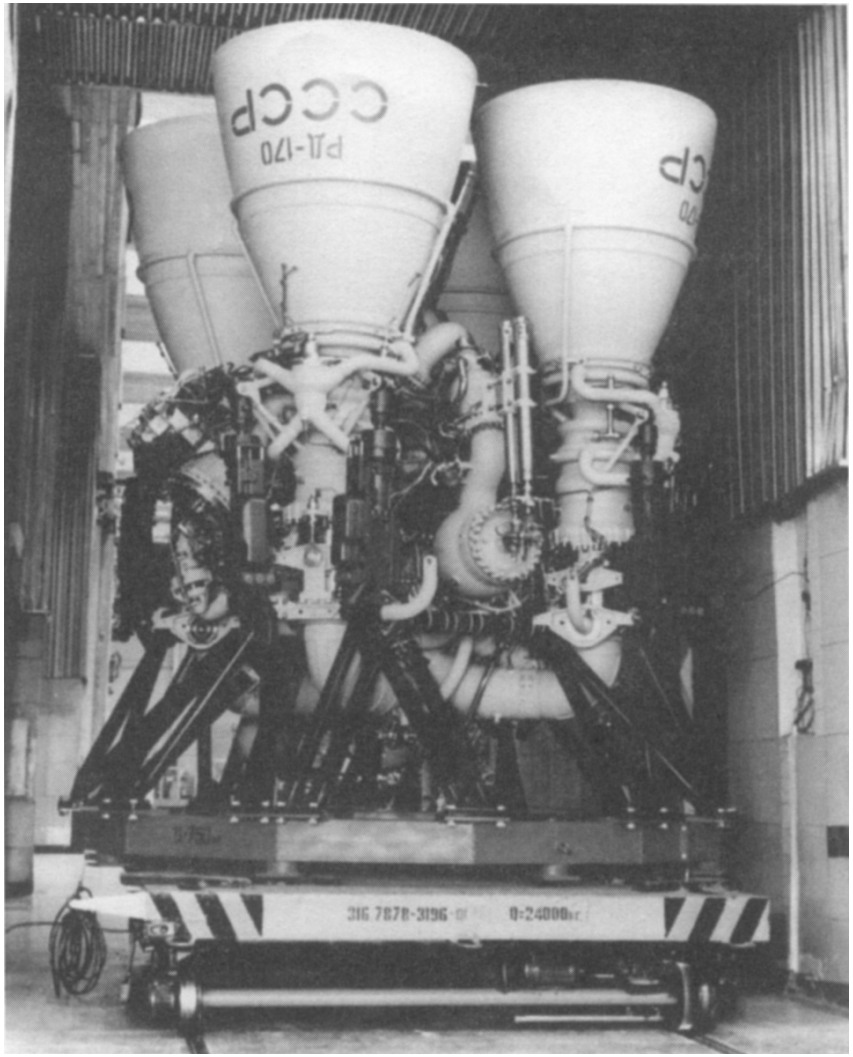




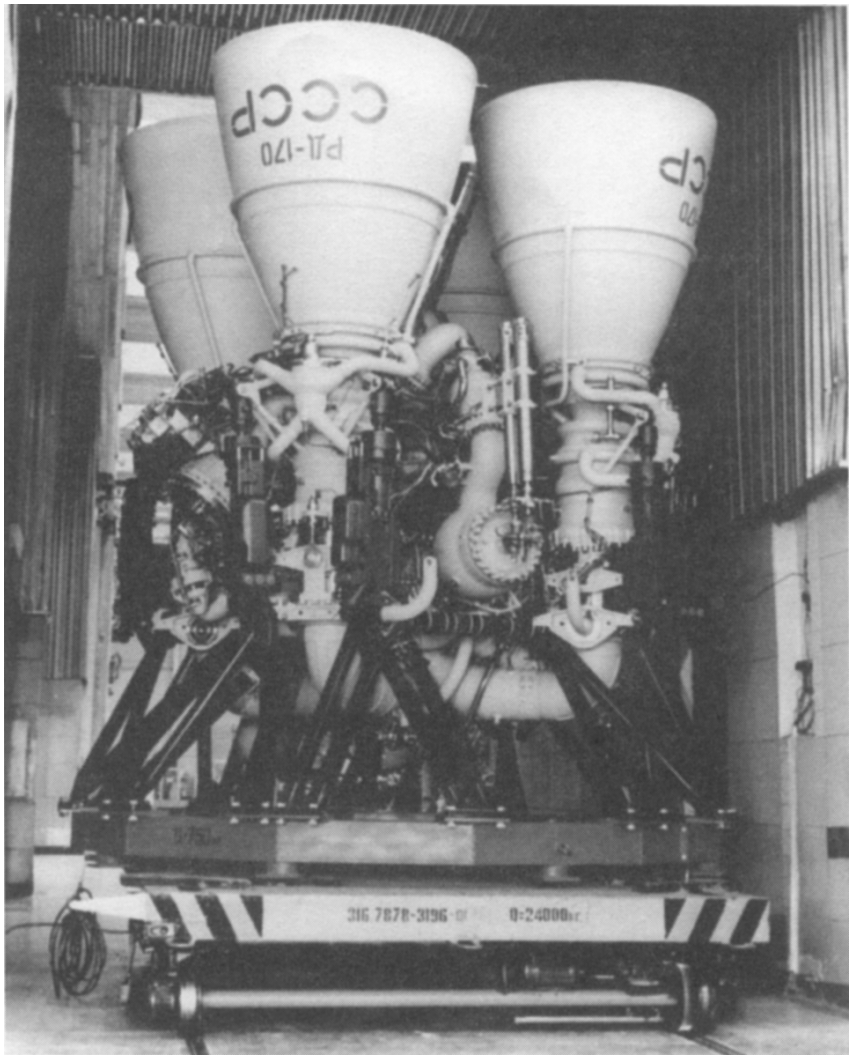
Uzay Mekiği Ana Motorunun iki görünüşü.



RS-68 roket motorunun gaz üreteci çevrimiyle basitleştirilmiş görünüşü.



Burada aktarım sepeti üzerinde gösterilen RD-170 roket motoru, harcanabilir veya (10 uçuşa kadar) tekrar kullanılabilir türdendir. Zenith, Soyuz güçlendirici, Atlas V ve Energiya lansman araçlarında kullanıldı.



Boru şeklindeki yapı dört mafsallı itme haznesini ve kumanda aktüatörlerini destekler. Bugün kullanılan en yüksek itme sıvı roket motorudur. (NPO Energomash'ın izniyle Moskova Bölgesi, Ref. 11 - 8.)

Sıvı Yakıtların Dezavantajları

1. Fırlatılmaları için dev rampalara ihtiyaç duyarlar. Dev yapılı roketlerdir ve ağırdırlar.
2. Öz itimleri katı yakıtlara nazaran %15 daha azdır.
3. Yakıt kütlesi, yükün on katından fazla olamaz.

4. Çok karışık mühendislik gerektirirler bu nedenle çok pahalı roketlerdir. Ariane roketlerinin bir atılışta iki veya üç uyduyu yörüngeye oturtmalarının nedeni, roket sisteminin pahalılığından kaynaklanmaktadır.
5. Yakıtın yanması ve kontrolü vana ve pompa sistemleri ile yapıldığından ek bir yük getirir.

6. Kullanılan yakıt oksitleyici özelliğe sahip olduğundan vana ve pompalarda arızaya bu da roketin kontrolden çıkmasına ve düşmesine neden olmaktadır. Bundan dolayı mekanik pompalardan kaçınılır. Bunların yerine mekanik olmayan gazla çalışan pompalar veya yardımcı gazın basıncı ile püskürtme işini sağlayan yollar denenmiştir.

(Ariane V'in V63 nolu fırlatılması: 24 Ocak 1994 günkü uçuşun numarası V63 idi ve diğer birçok uçuş gibi 2 uydu taşıyordu: Türksat 1 ve Eutelsat 2F5. Fırlatma aracı Ariane filosunun ikinci en güçlü modeli olan Ariane-4 AR44LP idi.

Ancak uçuş başarısızlıkla sonuçlandı. Toplam kayıp 350 milyon dolar civarında idi. Kaza Ariane'nın 1976'dan beri meydana gelen 6. kazası. Başka bir deyişle 63 fırlatmadan 57'si başarılı, 6'sı başarısızlıkla sonuçlanmıştı. Kazaya cryogenic 3. aşama motorunun görevini yapamaması neden olmuştur.

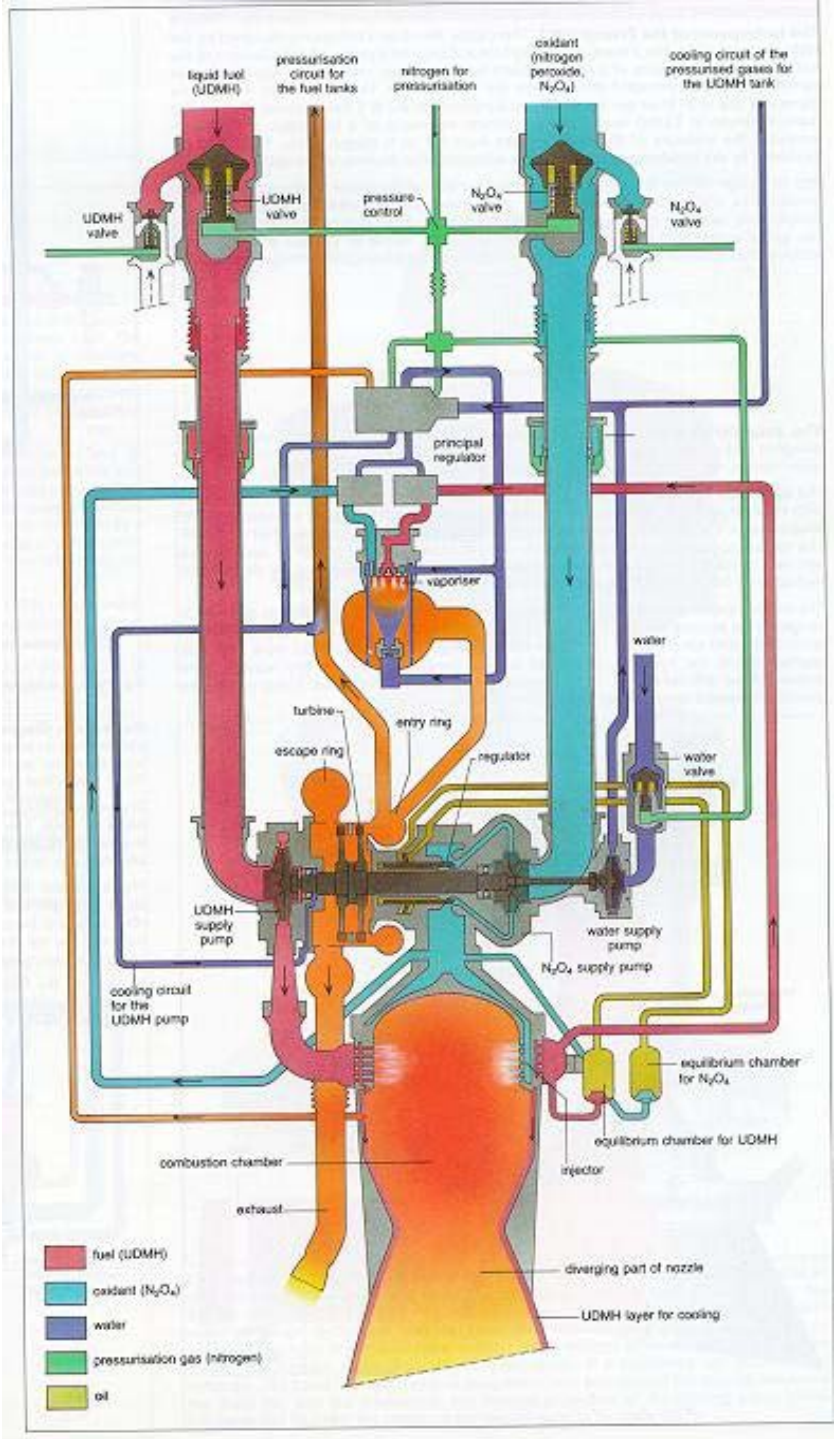
Bu motor Fransız SEP (Societe Europeene de Propulsion) tarafından üretilmekte. Yetkililerin açıklamalarına göre, fırlatmadan 6 dakika 47 saniye sonra (3. aşama motorunun ateşlenmesinden bir dakika sonra) sıvı oksijen turbo pompasındaki bir mil yatağında hızlı bir sıcaklık artması gözlendi. Bu turbo motor 13000 devir/dakika hızla dönmekte ve -170 °C sıcaklıkta tutulmada idi. 20 saniye sonra pompa tamamen durdu. Uzmanlar mil yatağının tahrip olduğunu düşünüyorlar. 3.aşama motoru ve iki uydu, Batı Afrika açıklarında Atlantik'e düştü. "Tübitak Bilim ve Teknik Dergisi, sayı:316, s:7, 1994").

7. Yakıt çok zehirli ve yanıcı olduğundan olağan üstü güvenlik tedbirlerine ihtiyaç vardır.
8. Yakıt, roket ateşlenmeden kısa bir süre önce rokete yüklenmelidir. Eğer herhangi bir nedenle fırlatma ertelenirse, yakıt derhal boşaltılmalıdır.

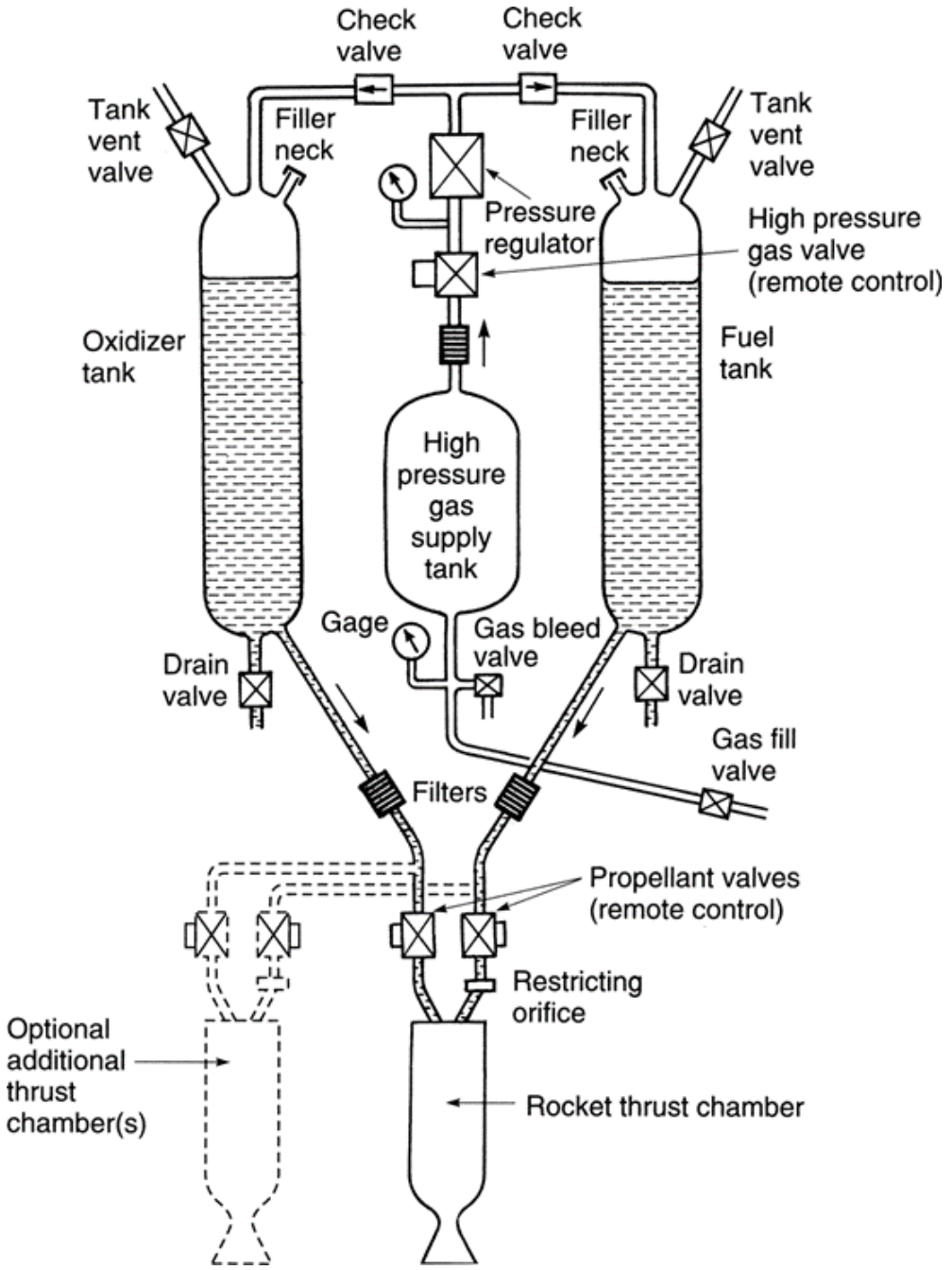
Roket yakıtlarının pahalı olması, taşınmaları ve korunmalarının tehlikeli olması roket mühendislerini daha değişik kaynaklar aramaya sevk etmiştir. Özellikle yörüngeye oturtulan uydularda yörünge düzeltmeleri yapmak, her türlü haberleşme için hep enerjiye ihtiyaç vardır. Enerji uydunun sistemlerindeki elektronik donanım içinde en önemli unsurdur. Bu nedenle enerjiyi sağlayan kaynak ya uydu ile beraber gönderilir ya da uzaydan tedarik edilmeye çalışılır.

Eğer uydunun içerisine enerji kaynağı konulursa bu hem sınırlı bir kullanım sağlar aynı zamanda uydu içinde bir tehlike oluşturur. Bu nedenle insanlı ve insansız uydularda enerji güneş pilleri yardımıyla sağlanır ya da akü sistemi kullanılır. Böyle olunca da yörünge düzeltmesi için kullanılan motorlar daha özenli ve kullanışlı yapılmak zorundadır. Hangi yolla olursa olsun elde edilen enerjinin büyük bir kısmı yörünge düzeltmelerinde kullanılır.

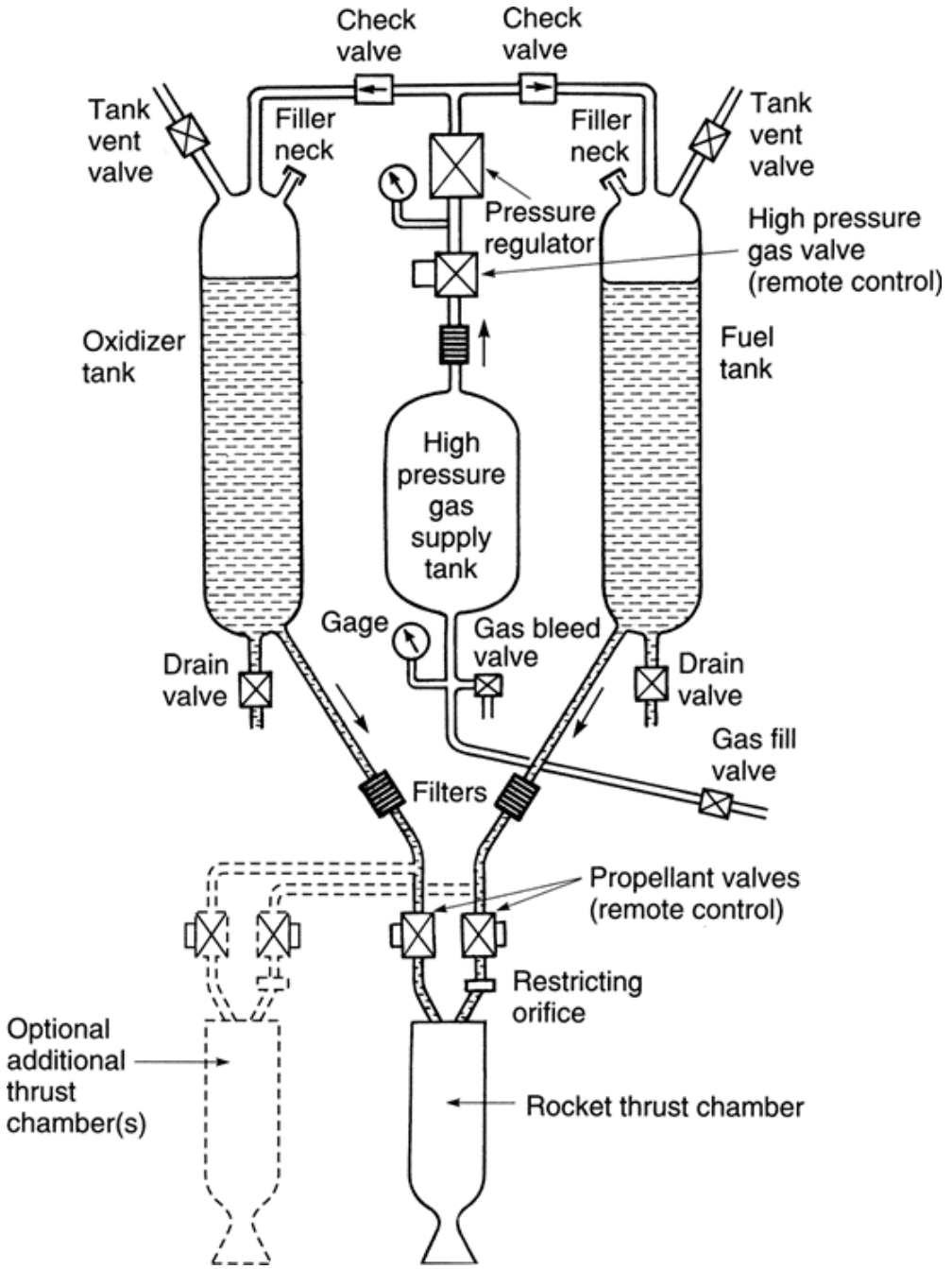
Sıvı yakıtlı bir roketin motor, yanma odası ve egzoz kısımları



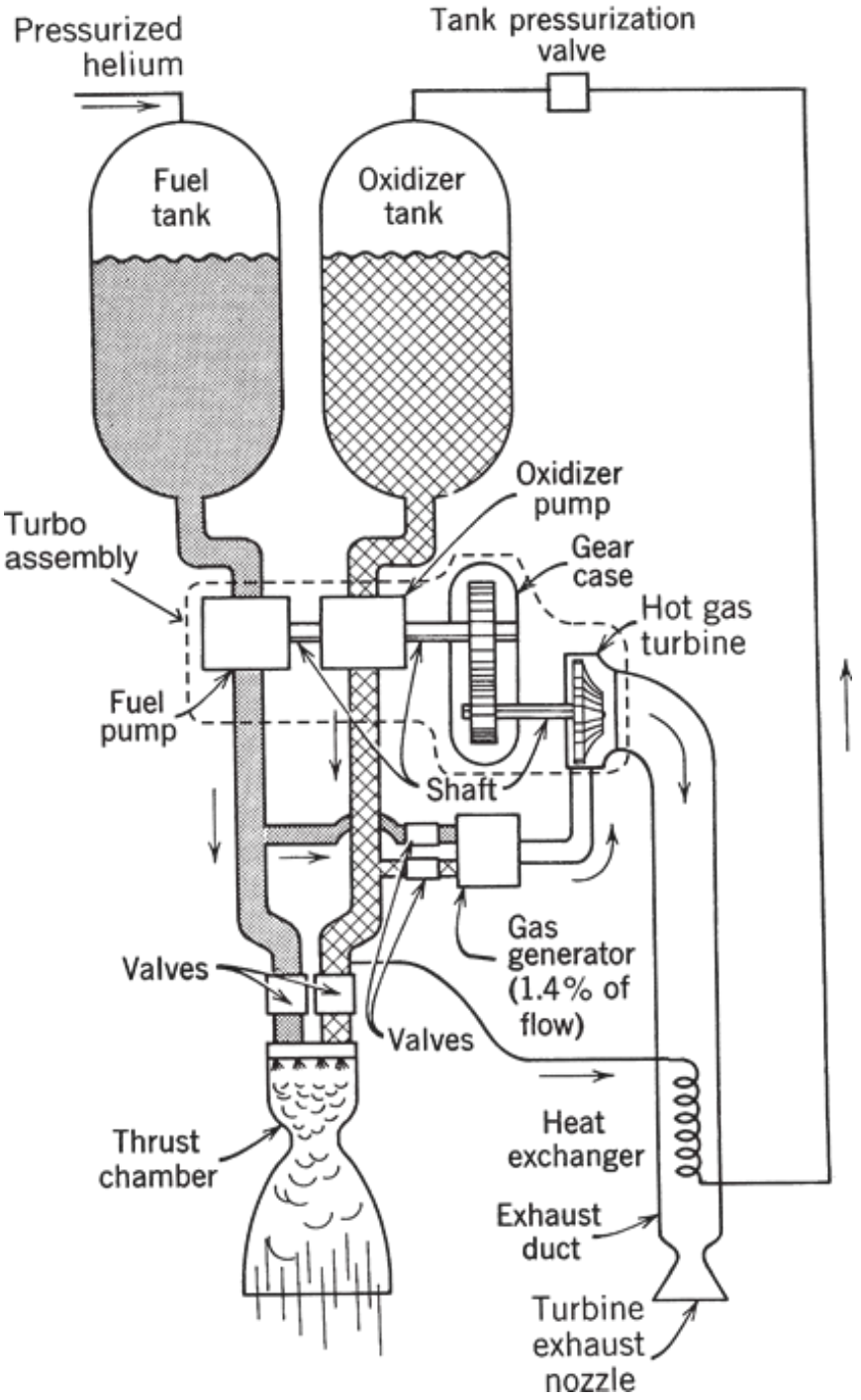
Gaz basınçlı besleme sistemi ile sıvı itici roket motorunun şematik akış diyagramı. Kesikli çizgiler ikinci bir itme odası gösterir, ancak bazı motorların aynı besleme sistemi tarafından sağlanan düzineden fazla itme odası vardır.



Ayrıca, çalıştırma ve durdurma, tank basıncını kontrol etme, itici gazları doldurma ve gazın basınçlandırılması, kalan iticilerin boşaltılması, tank basıncının indirilmesi veya havalandırılması ve çeşitli sensörler için gerekli bileşenler gösterilir.



Bir turbopomp besleme sistemi ve türbin sürüşü için "sıcak" gaz üreten ayrı bir gaz jeneratörüne sahip bir tür sıvı itici roket motorunun basitleştirilmiş şematik diyagramı.



Gösterimi, iticileri, filtreleri veya sensörleri çalıştırmak, doldurmak, havalandırmak, boşaltmak veya yıkamak için gerekli bileşenler bulunmaktadır. Bu türbinli pompa takımı, iki itici pompa, bir vites kutusu ve bir yüksek hızlı türbinden oluşur.

