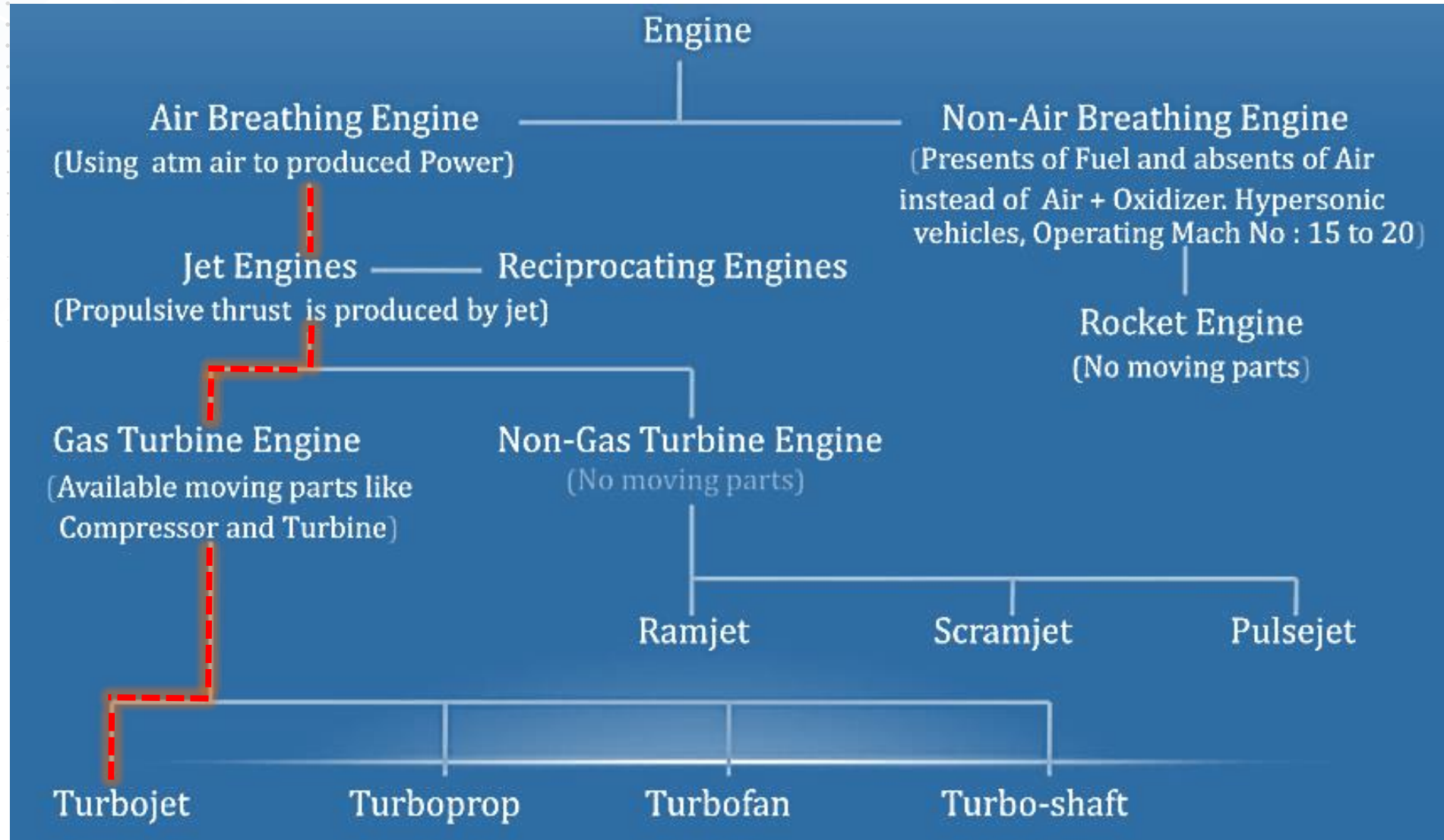


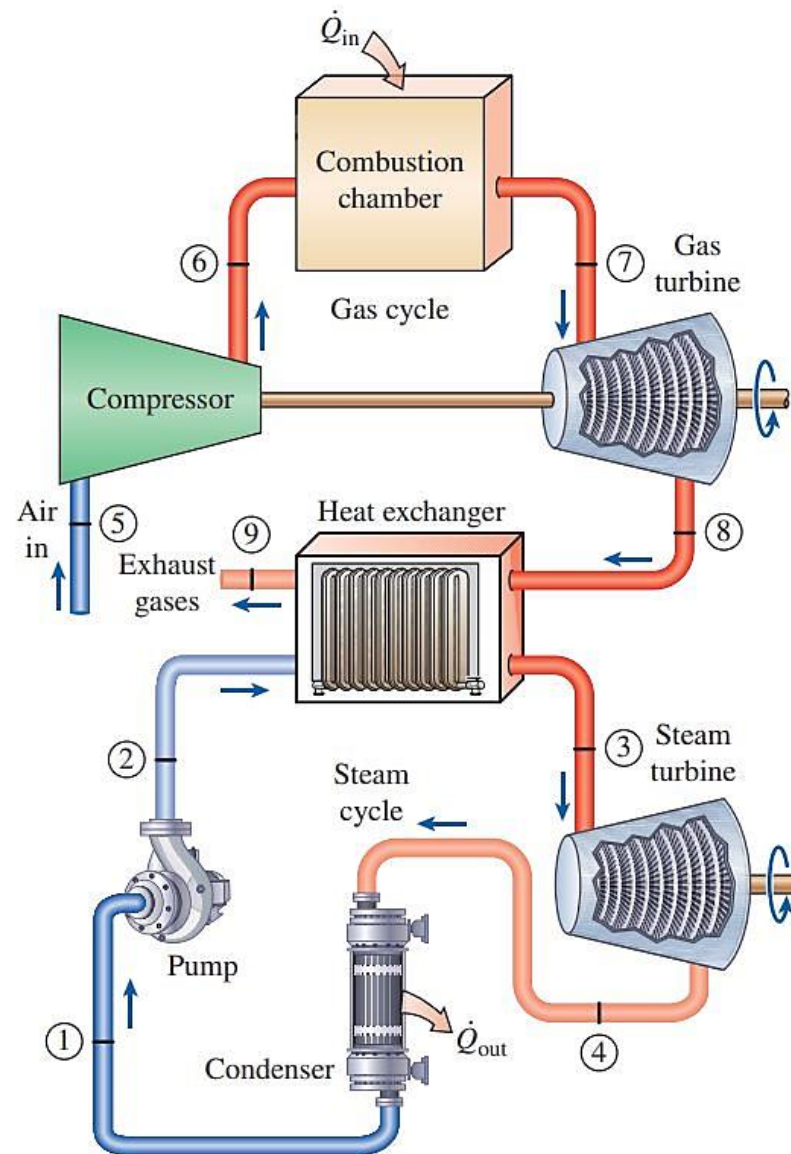
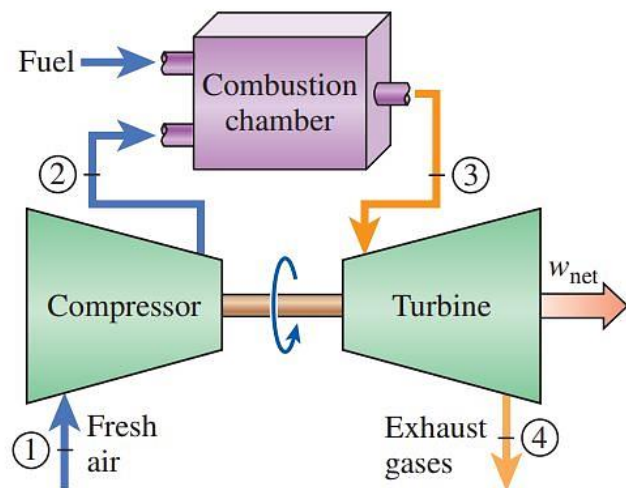
توربو ماشین ها

محمد صادق کریمی

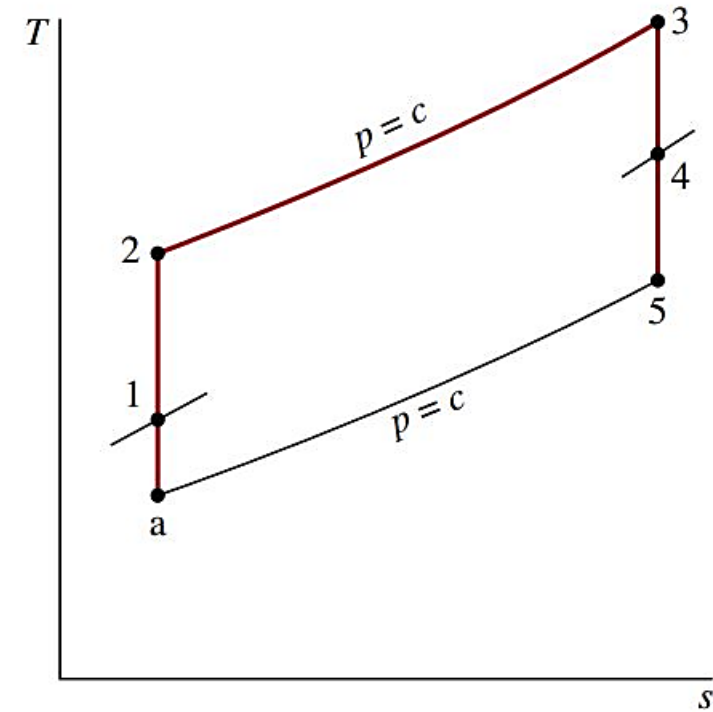
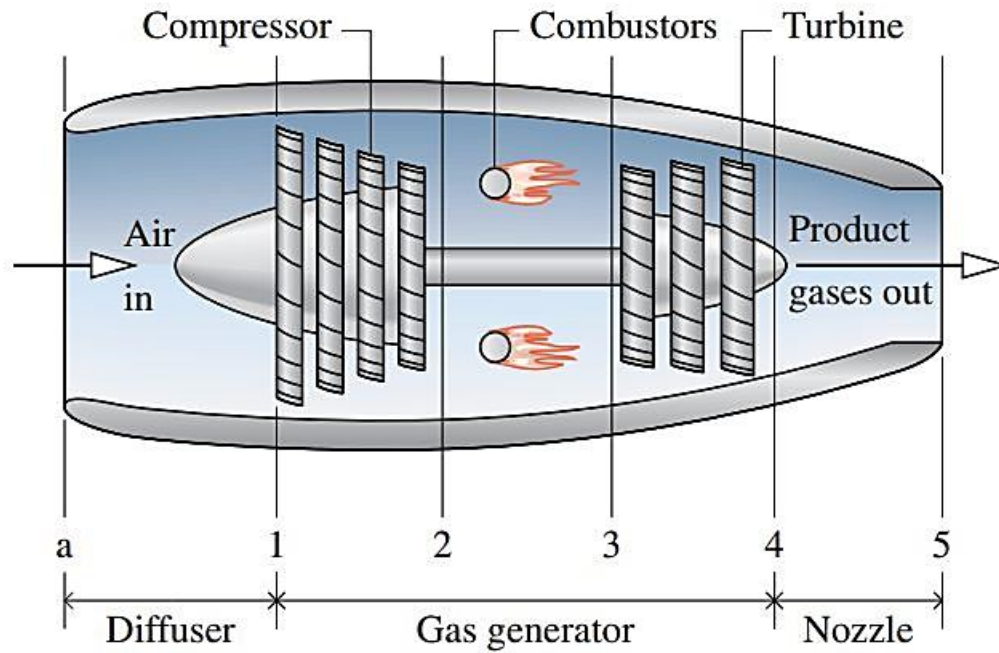




چرخه توربین گاز



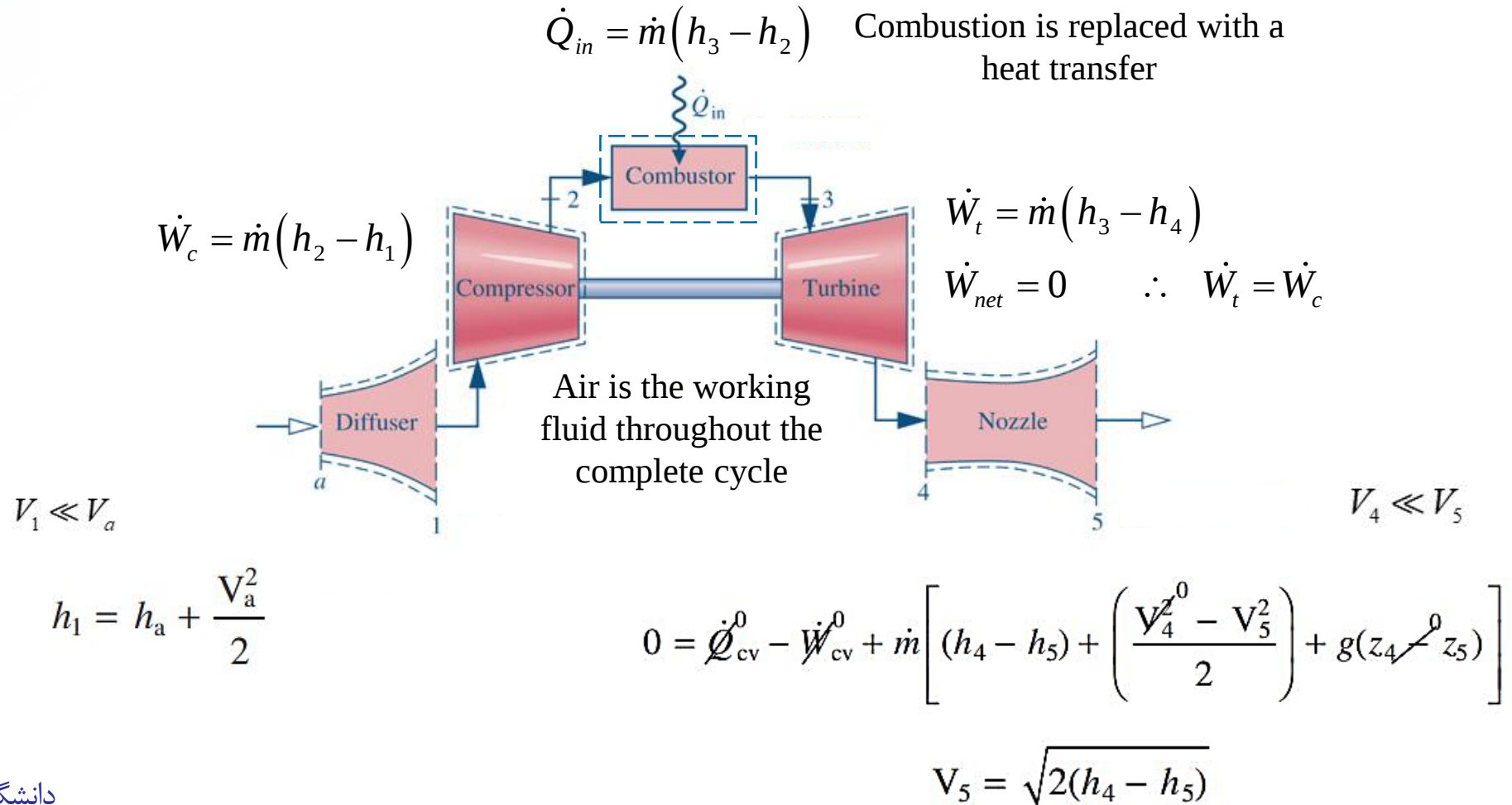
شماتیک موتور توربوجت ایده آل





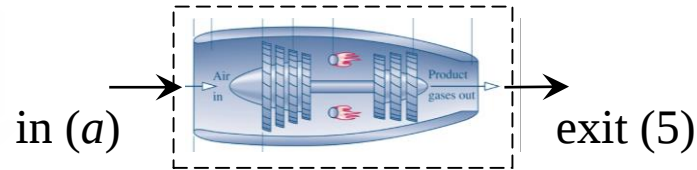
مدل توربوجت

➤ تحلیل قانون اول ترمودینامیک اجزای چرخه





Propulsive Force (Thrust)



$$F = (\dot{m}V)_{\text{exit}} - (\dot{m}V)_{\text{inlet}} = \dot{m}(V_{\text{exit}} - V_{\text{inlet}})$$

In this equation, the velocities are relative to the aircraft (engine). For an aircraft traveling in still air,

$$V_{\text{aircraft}} = V_{\text{in}} = V_a$$

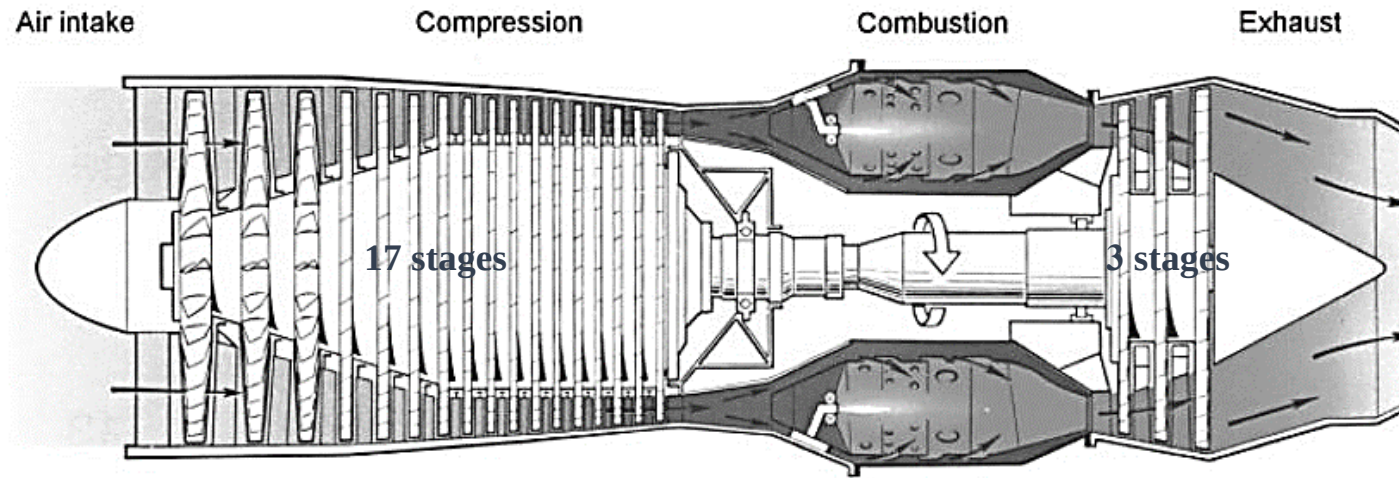
Propulsive Power

The power developed from the thrust of the engine

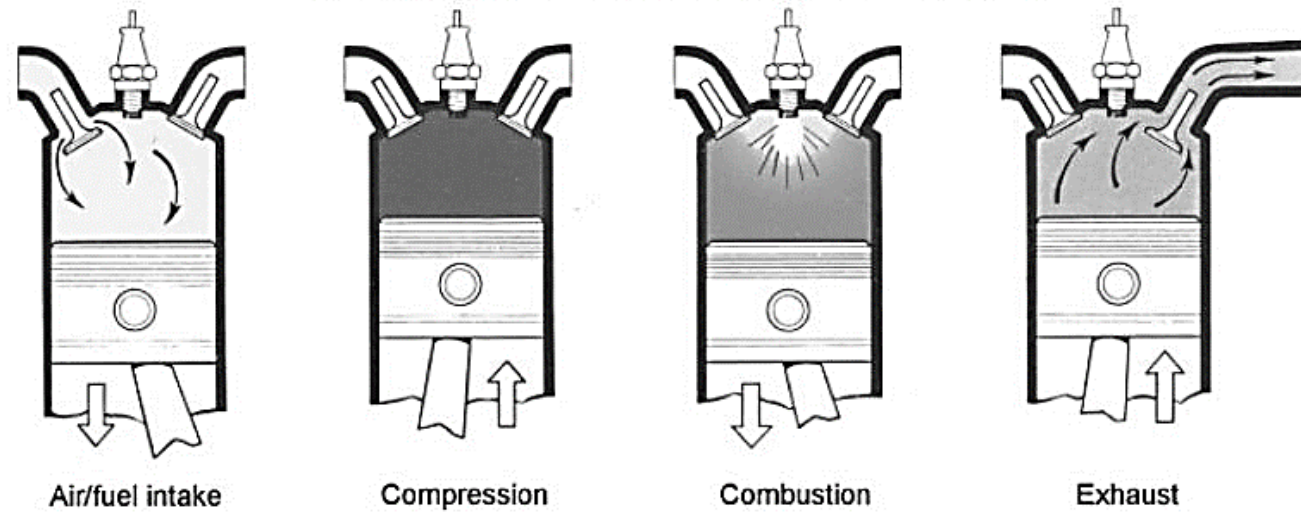
$$\dot{W}_P = FV_{\text{aircraft}} = \dot{m}(V_{\text{exit}} - V_{\text{inlet}})V_{\text{aircraft}}$$

$$\eta_P = \frac{\text{Propulsive power}}{\text{Energy input rate}} = \frac{\dot{W}_P}{\dot{Q}_{\text{in}}}$$





Gas turbine engine: continuous operation



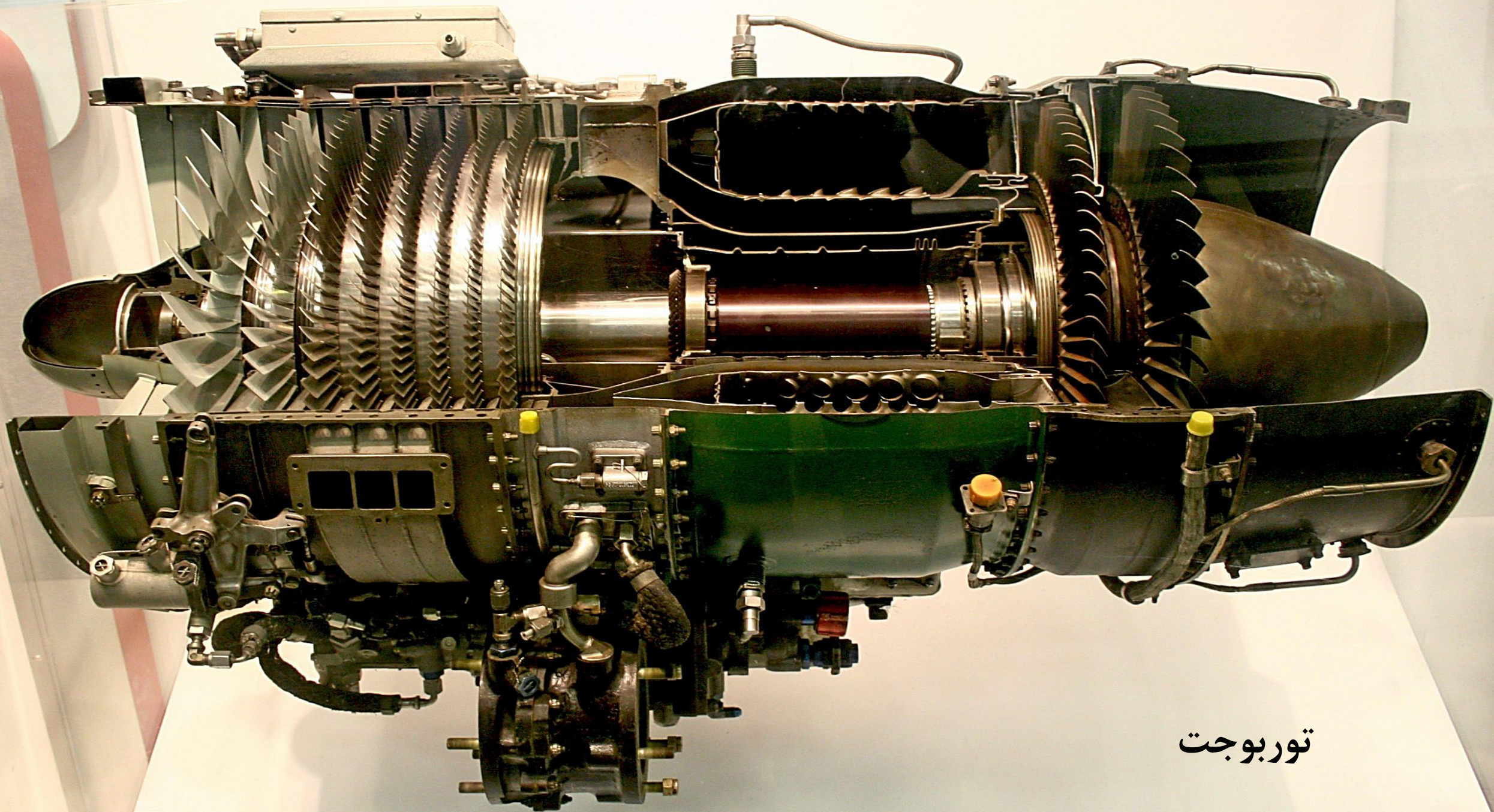
Piston engine: intermittent operation





انواع موتور توربین گاز



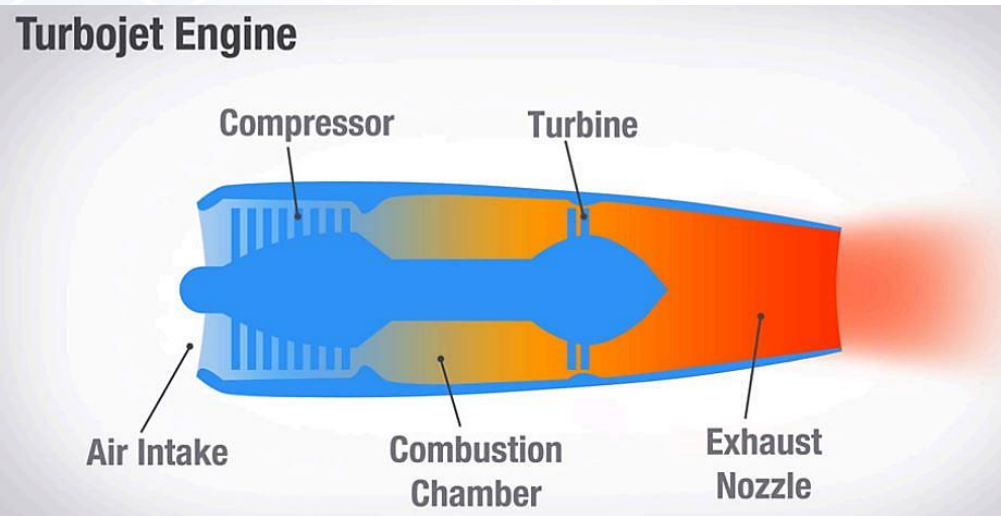


توربوجت



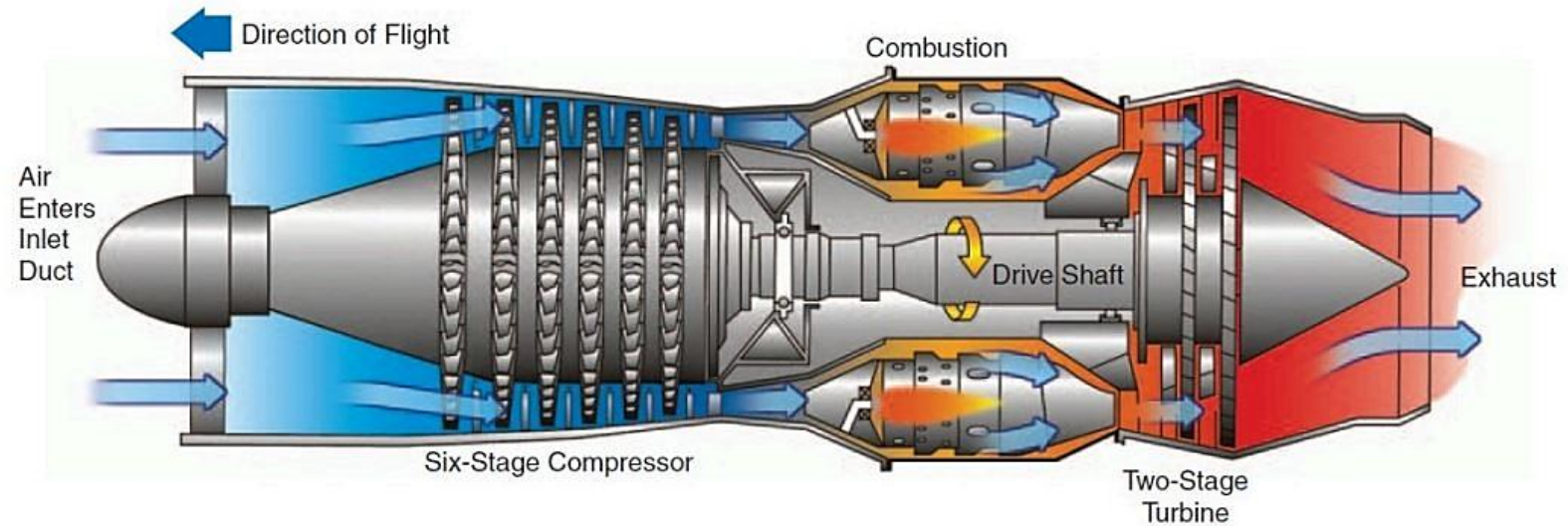
موتور توربوجت

Turbojet Engine



□ فضای کمی اشغال می‌کند ولی مصرف سوخت بالایی دارد.

TURBOJET ENGINE

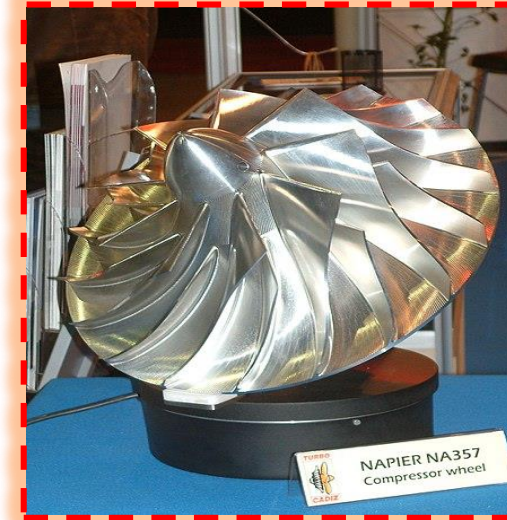




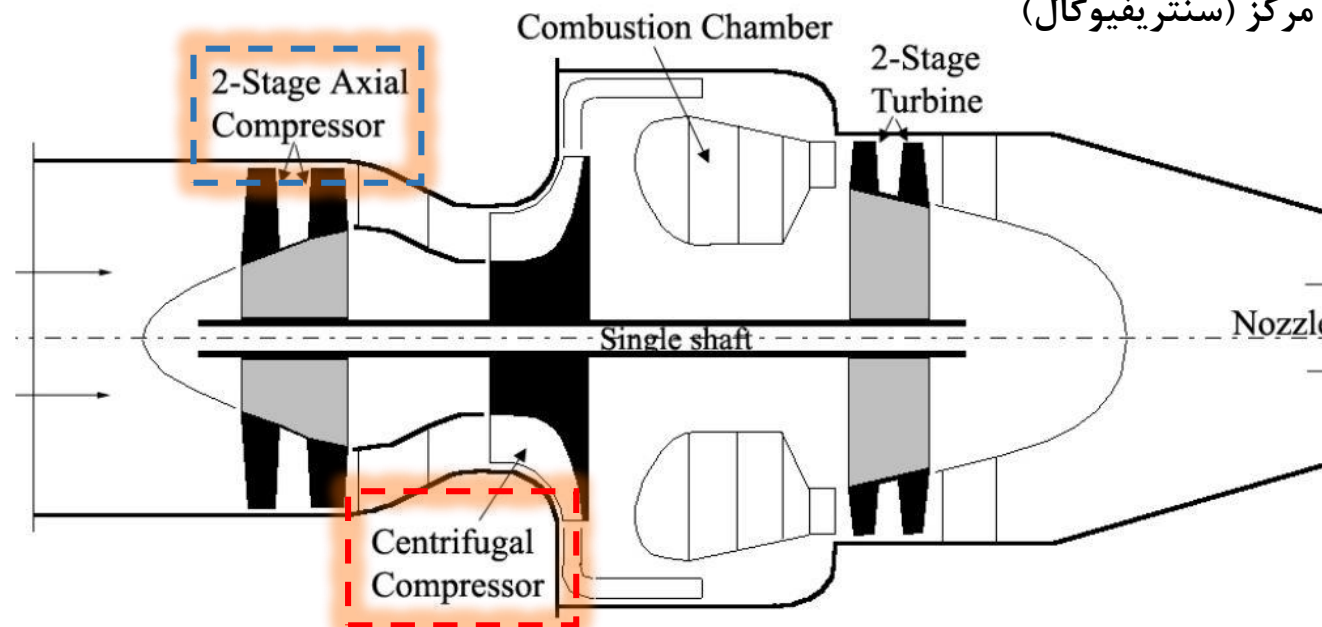
کمپرسور



کمپرسورهای محوری (اکسیال)

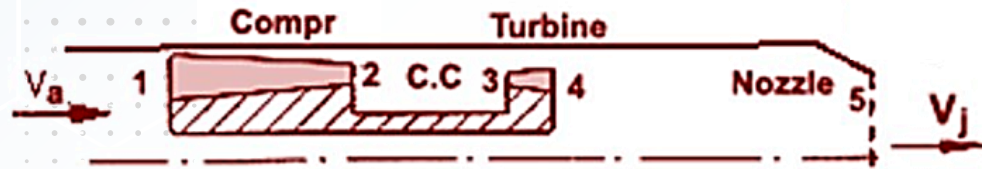


کمپرسورهای شعاعی یا گریز از مرکز (سنتریفیوگال)

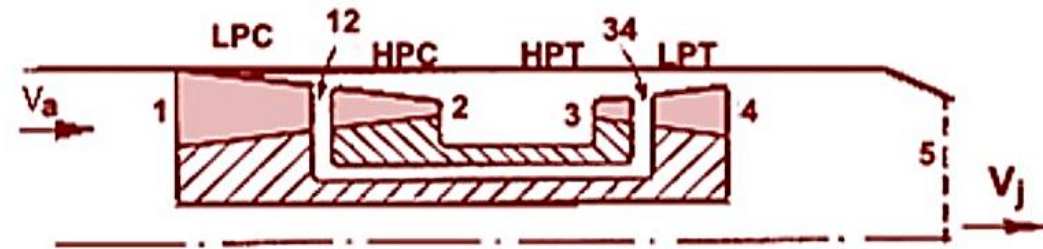


□ در یک طبقه، نسبت
فشار کمپرسور گریز از
مرکز بیش‌تر از
کمپرسور محوری
مشابه است.





(a) Single spool turbojet engine : Matching spool : Compr-Turbine



(b) Two spool turbojet engine : Matching spool-1 : LPC-LPT
Matching spool-2 : HPC-HPT

Specifications	Units	Values
Ambient temperature	K	288.15
Ambient pressure	kPa	101.325
Air mass flow ($\dot{m}_a$)	kg/s	2.49
Fuel mass flow ($\dot{m}_f$)	kg/s	0.0387
Thrust (τ_{net})	kN	1.36
Overall pressure ratio (π_c)	—	3.4
Turbine inlet temperature	K	1050
Combustor pressure ratio	—	0.967

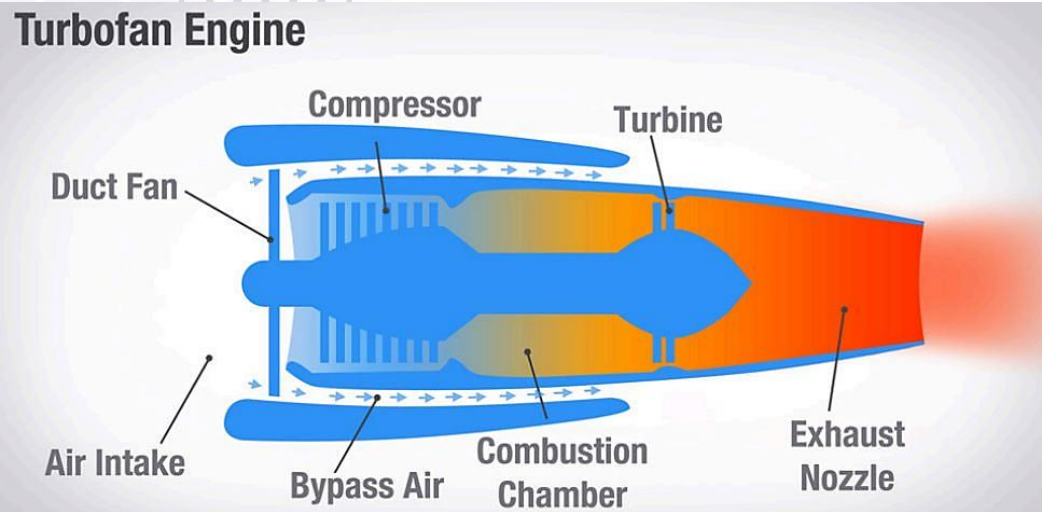
Aygun, H., 2024. Thermodynamic and environmental considerations of **small turbojet** engine under different design variables. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 46(1), pp.820-838.



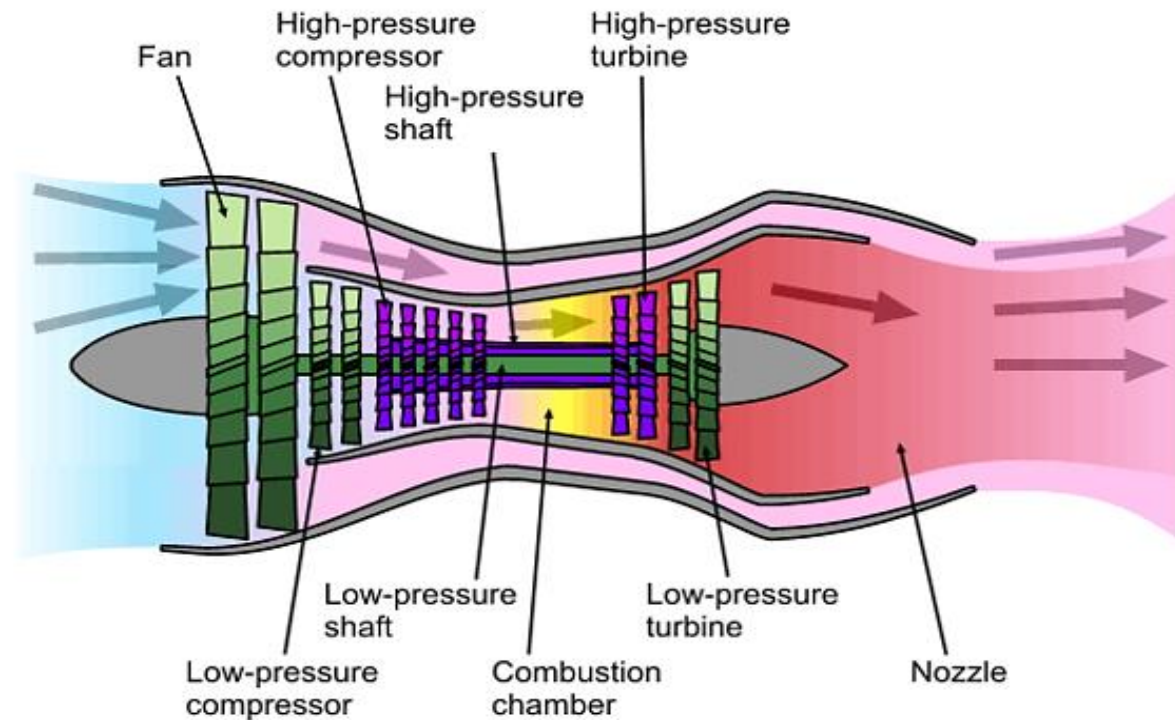


موتور توربو فن

Turbofan Engine

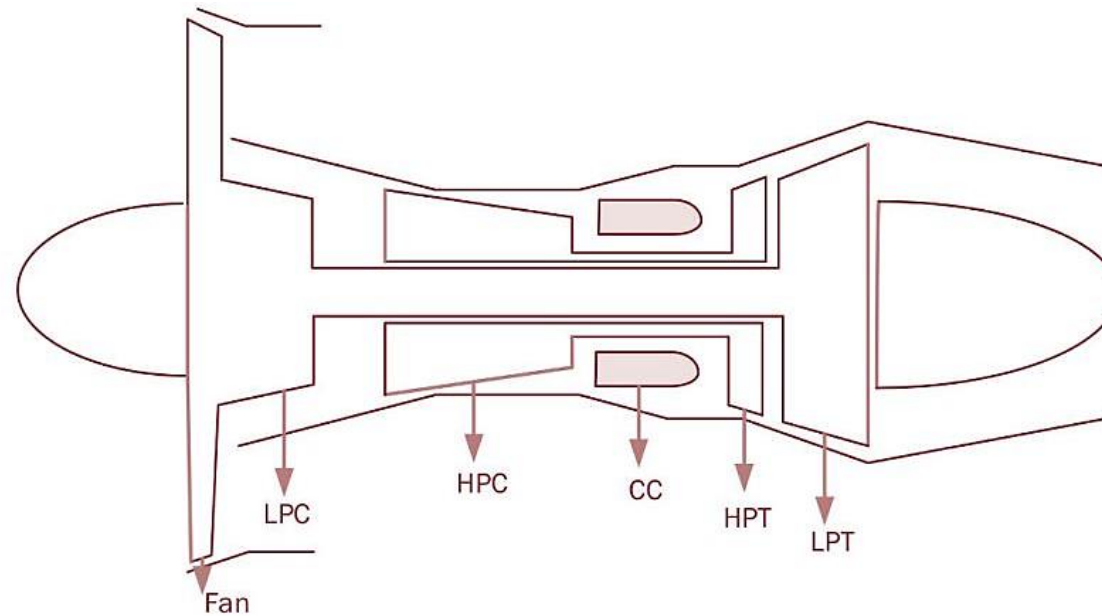


□ بازده بالا و مصرف سوخت کمتر از توربوجت ولی فضای زیادی اشغال کرده که باعث درگ بالا می‌شود.





موتور توربو فن



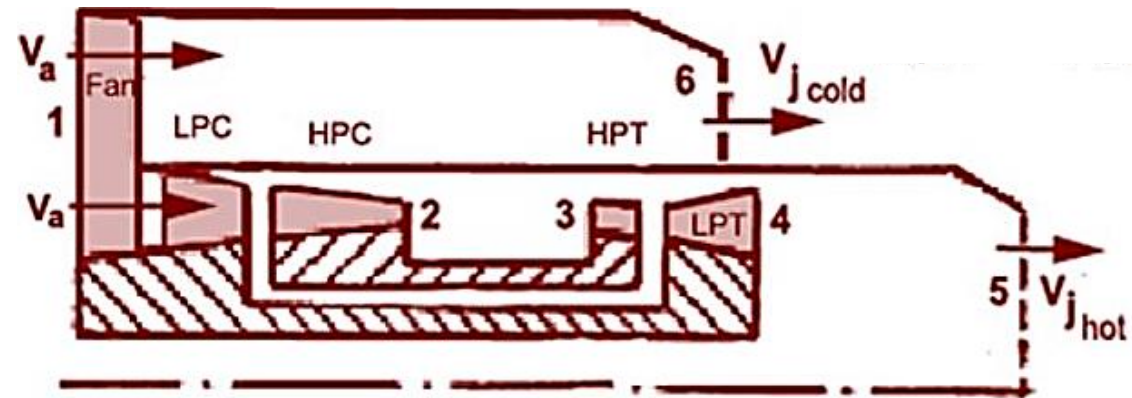
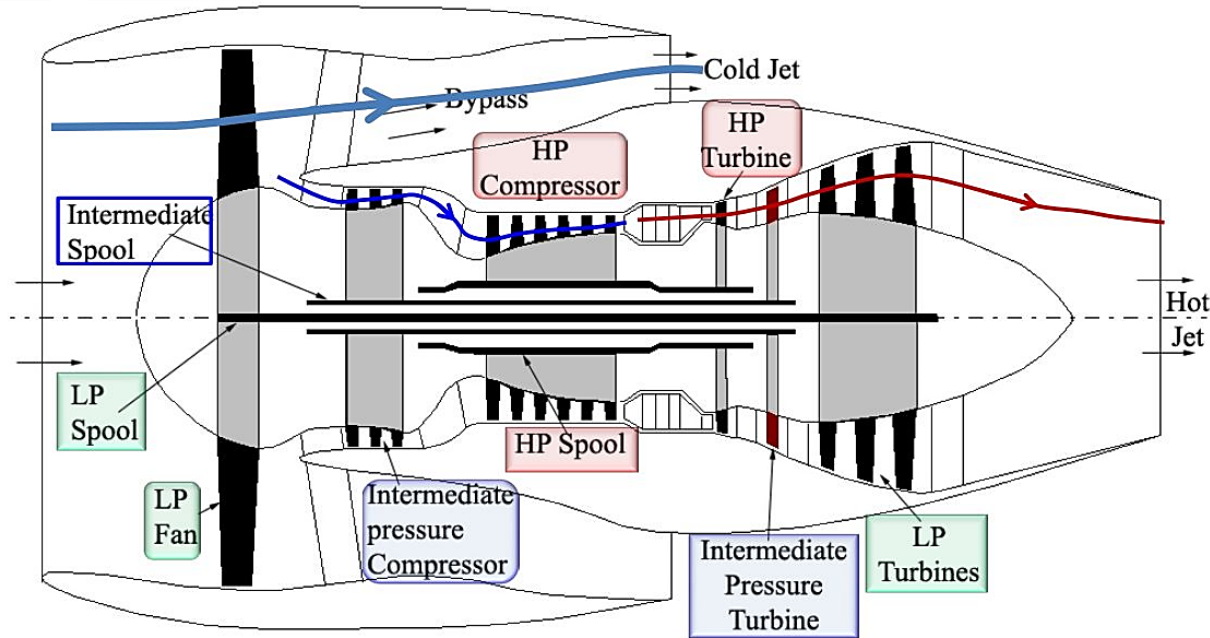
Specifications	Units	Values
Ambient temperature	K	288.15
Ambient pressure	kPa	101.325
Air mass flow ($\dot{m}_{a,core}$)	kg/s	129.01
Fuel mass flow ($\dot{m}_f$)	kg/s	2.65
Thrust (τ_{net})	kN	260
Overall pressure ratio (π_c)	–	32.8
Turbine inlet temperature	K	1522
Combustor pressure ratio	–	0.959

Aygun, H. and Turan, O., 2021. Entropy, energy and exergy for measuring PW4000 turbofan sustainability. *International Journal of Turbo & Jet-Engines*, 38(4), pp.397-409.





مفهوم اسپول در موتورهای توربوفن

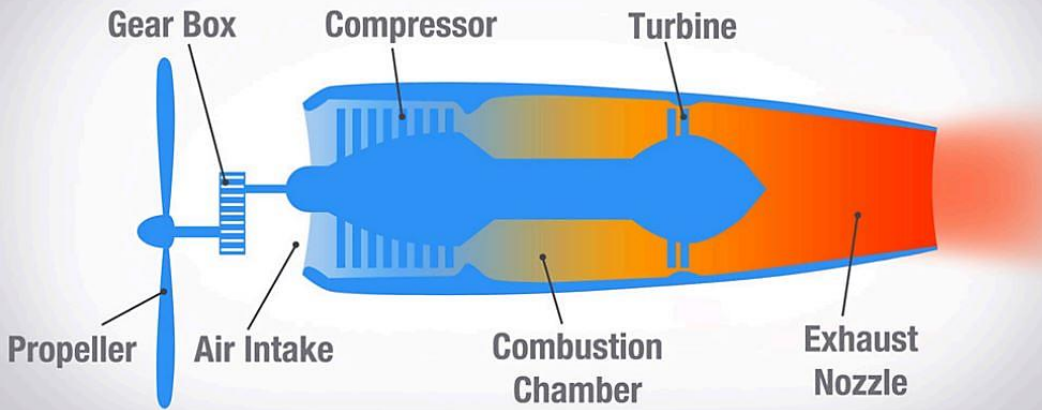


2-spool engine matching - spool 1 - Fan + LPC + LPT ,
spool 2 - HPC + HPT

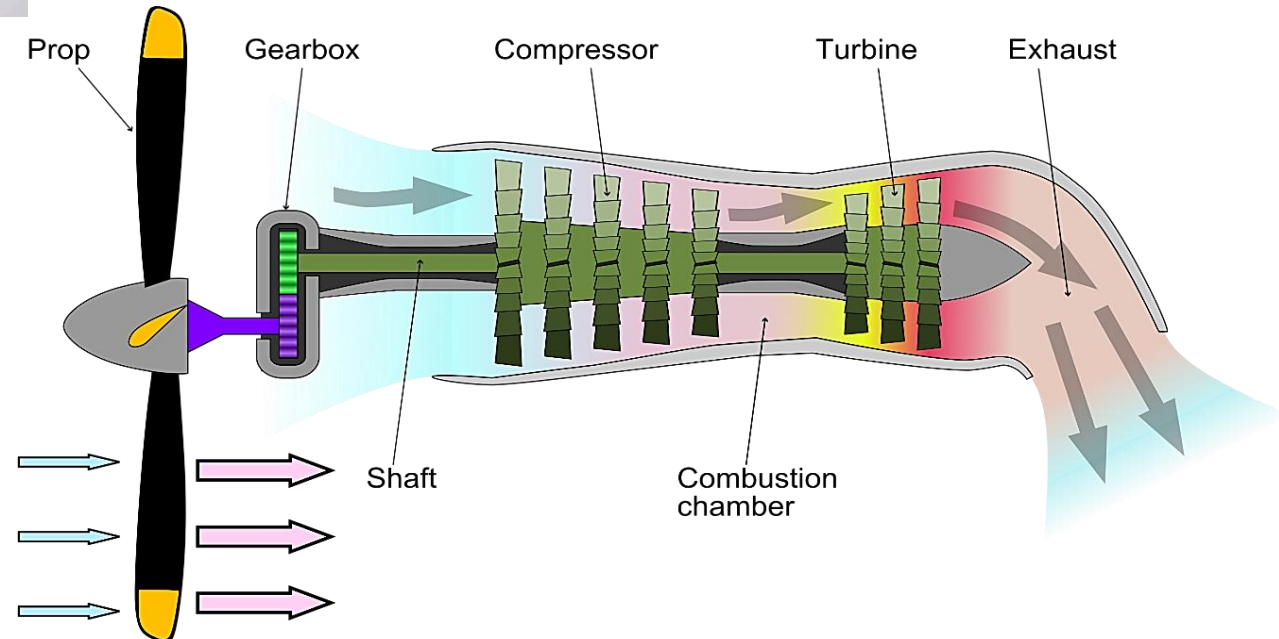


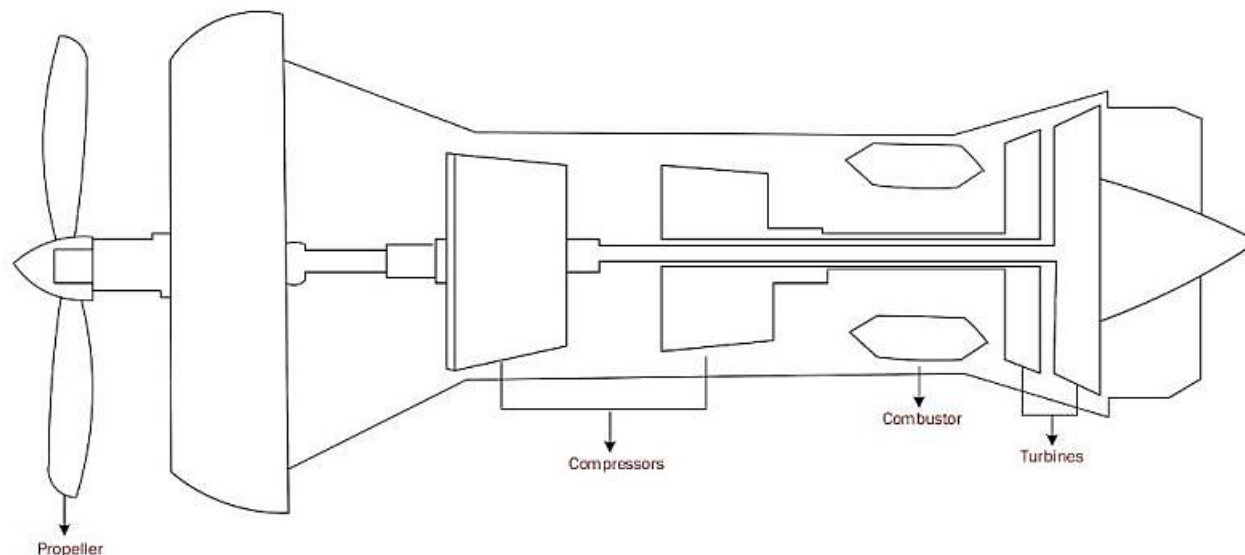
موتور توربو پروپ

Turboprop Engine



□ سبک و مصرف سوخت پایینی دارد ولی محدودیت تراست و خرابی جعبه دنده دارد.





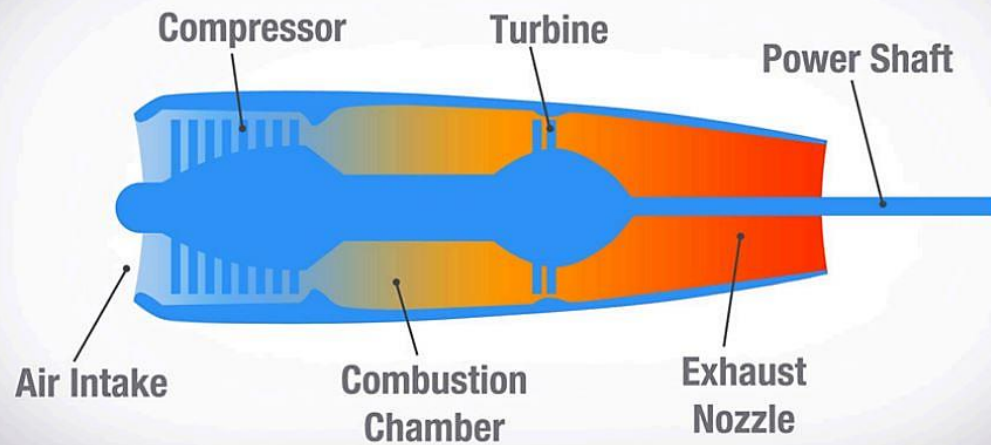
Specifications	Units	Values
Ambient temperature	K	288.15
Ambient pressure	kPa	101.325
Air mass flow ($\dot{m}_a$)	kg/s	17.2
Fuel mass flow ($\dot{m}_f$)	kg/s	0.2744
Thrust (τ_{net})	kN	49.85
Overall pressure ratio (π_c)	–	16.5
Turbine inlet temperature	K	1280
Combustor pressure ratio	–	0.969

Şöhret, Y., Kıncay, O. and Karakoç, T.H., 2015. Combustion efficiency analysis and key emission parameters of a turboprop engine at various loads. *Journal of the Energy Institute*, 88(4), pp.490-499.

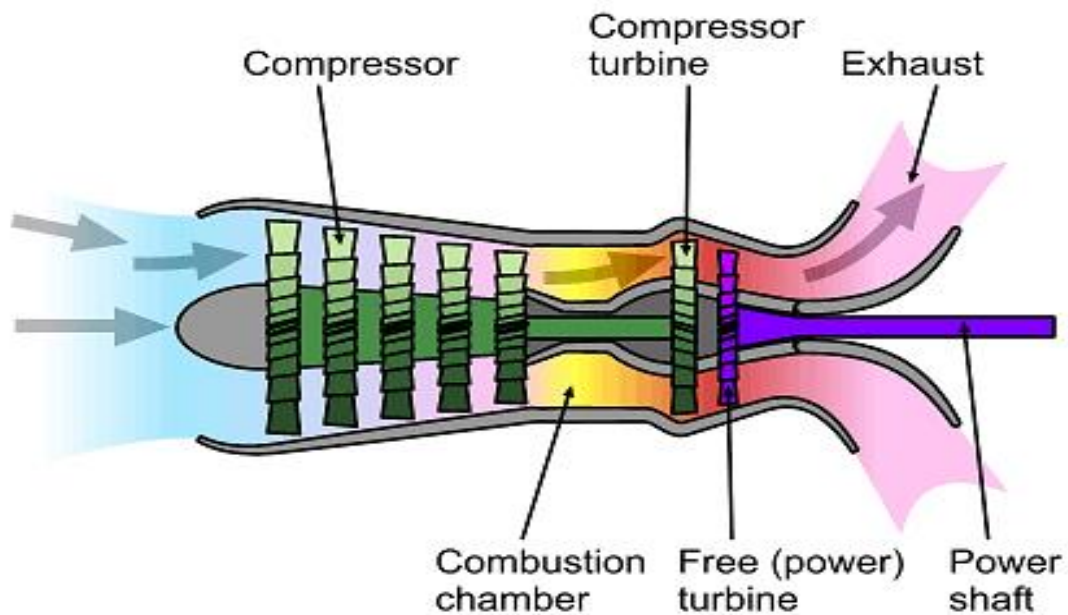


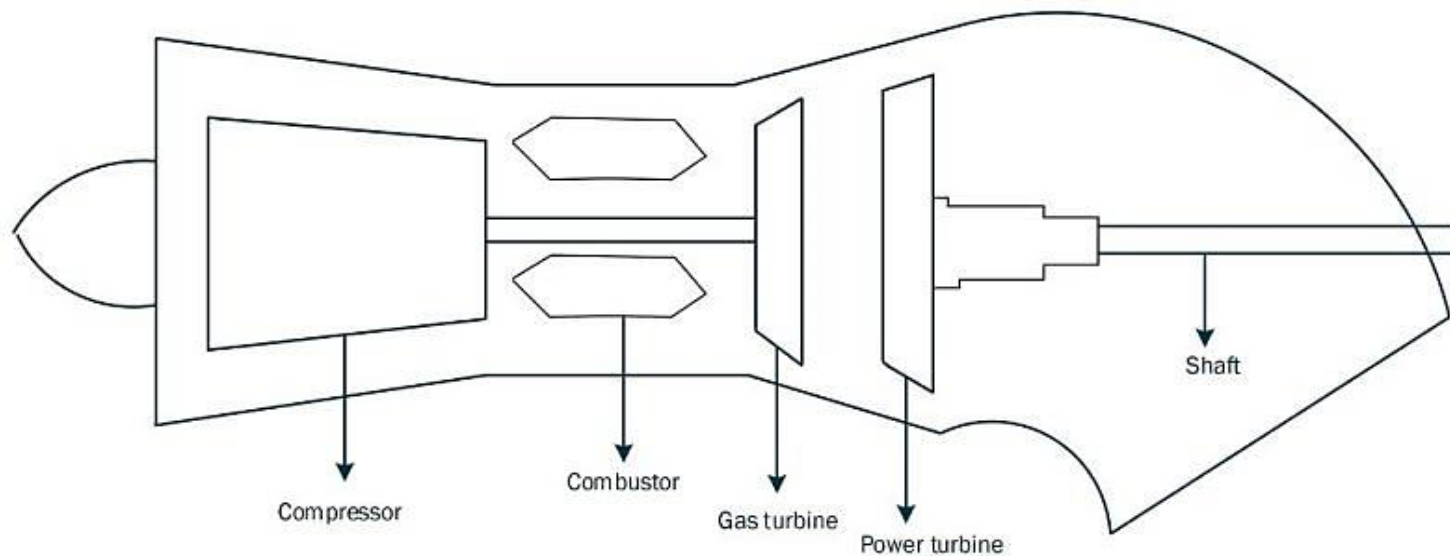


Turboshaft Engine



❑ اکثر توان توربین جهت بلند کردن بدنه سنگین استفاده می‌شود.





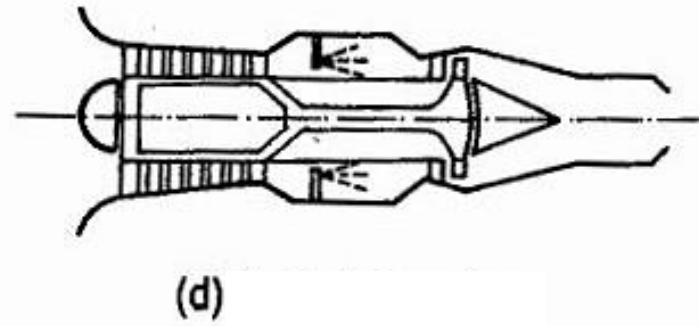
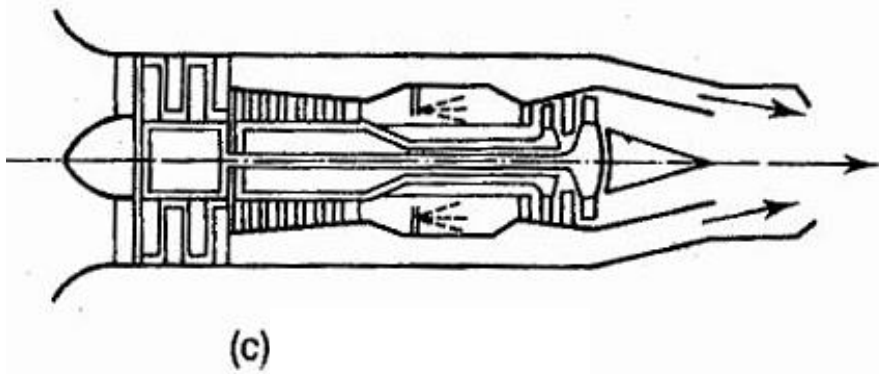
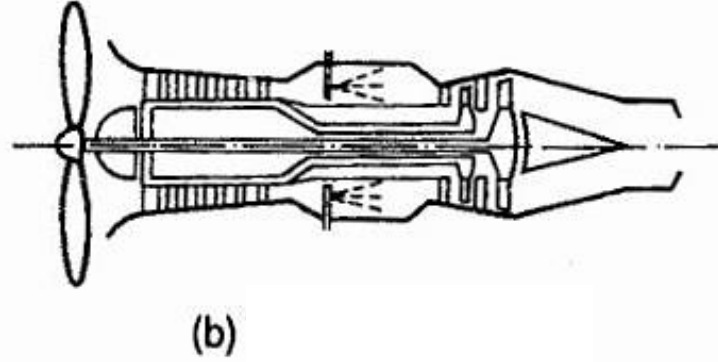
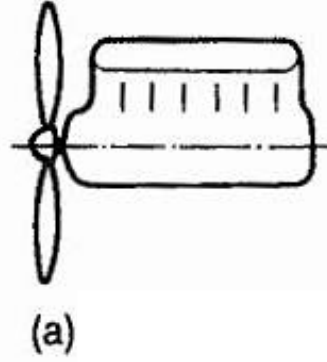
Specifications	Units	Values
Ambient temperature	K	288.15
Ambient pressure	kPa	101.325
Air mass flow ($\dot{m}_a$)	kg/s	8.4149
Fuel mass flow ($\dot{m}_f$)	kg/s	0.1514
Shaft power (P_{shaft})	kW	1772
Overall pressure ratio (π_c)	–	9.5
Turbine inlet temperature	K	1250
Combustor pressure ratio	–	0.97

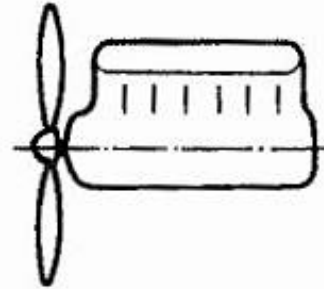
Aygun, H., 2022. Thermodynamic, environmental and sustainability calculations of a conceptual turboshaft engine under several power settings. *Energy*, 245, p.123251.



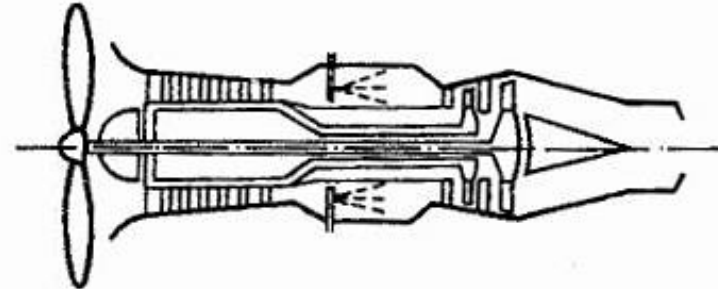


سوال

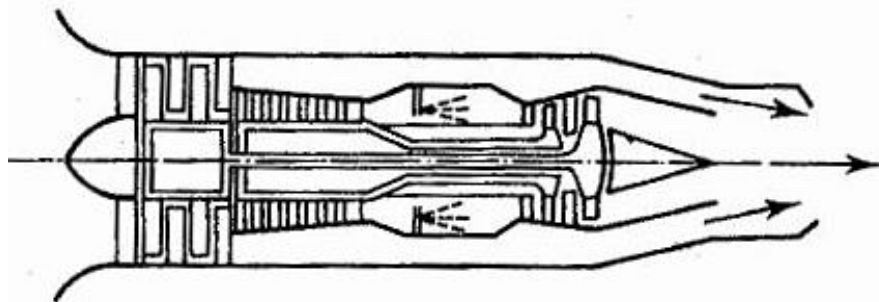




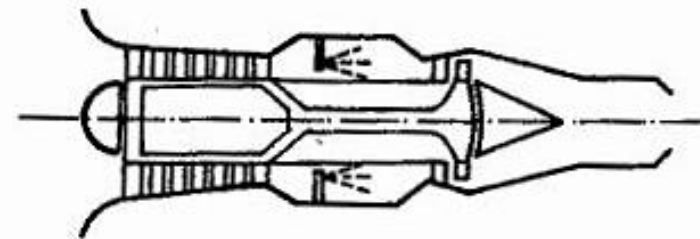
(a) Piston engine



(b) Turboprop engine

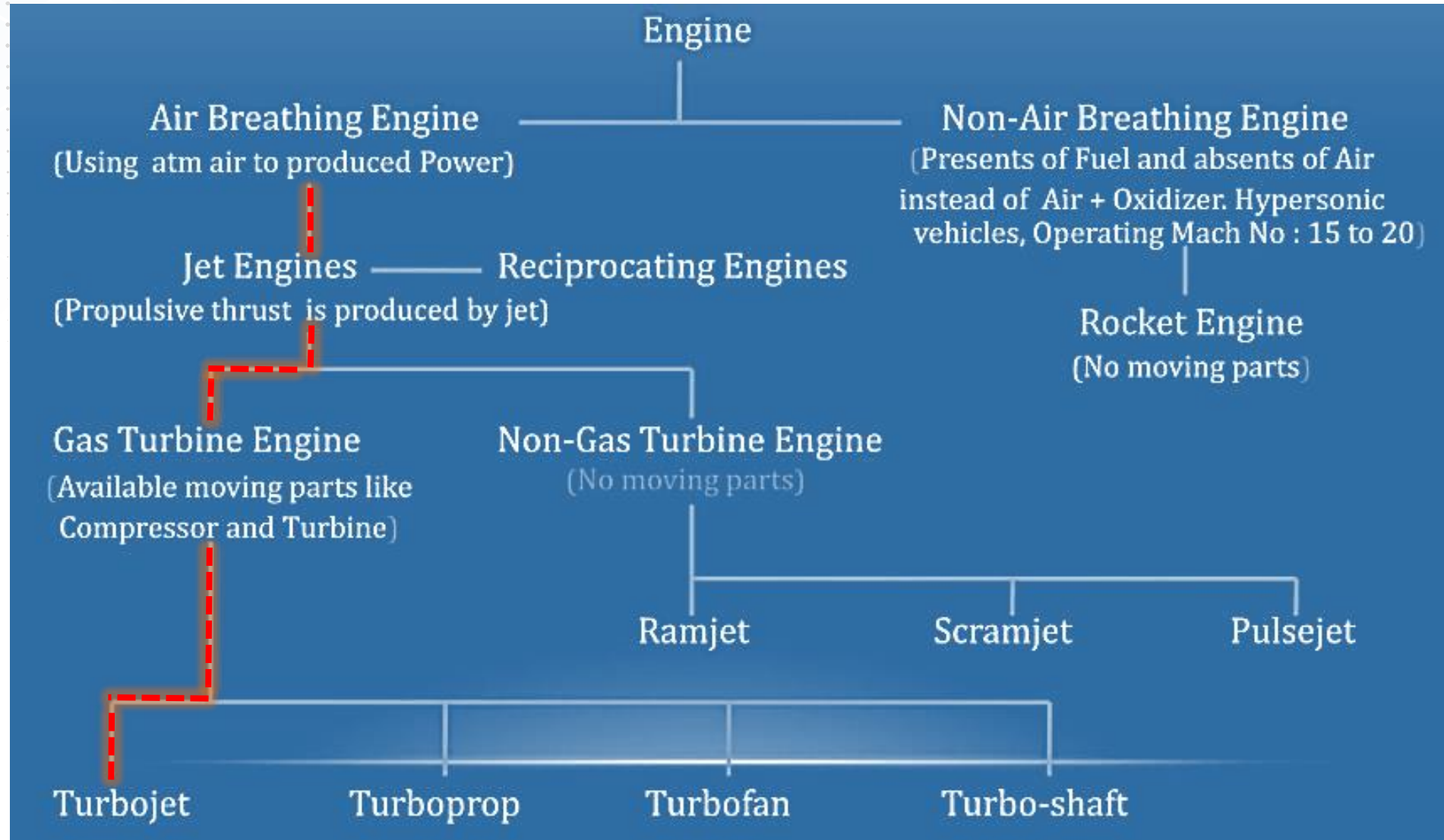


(c) Turbofan engine



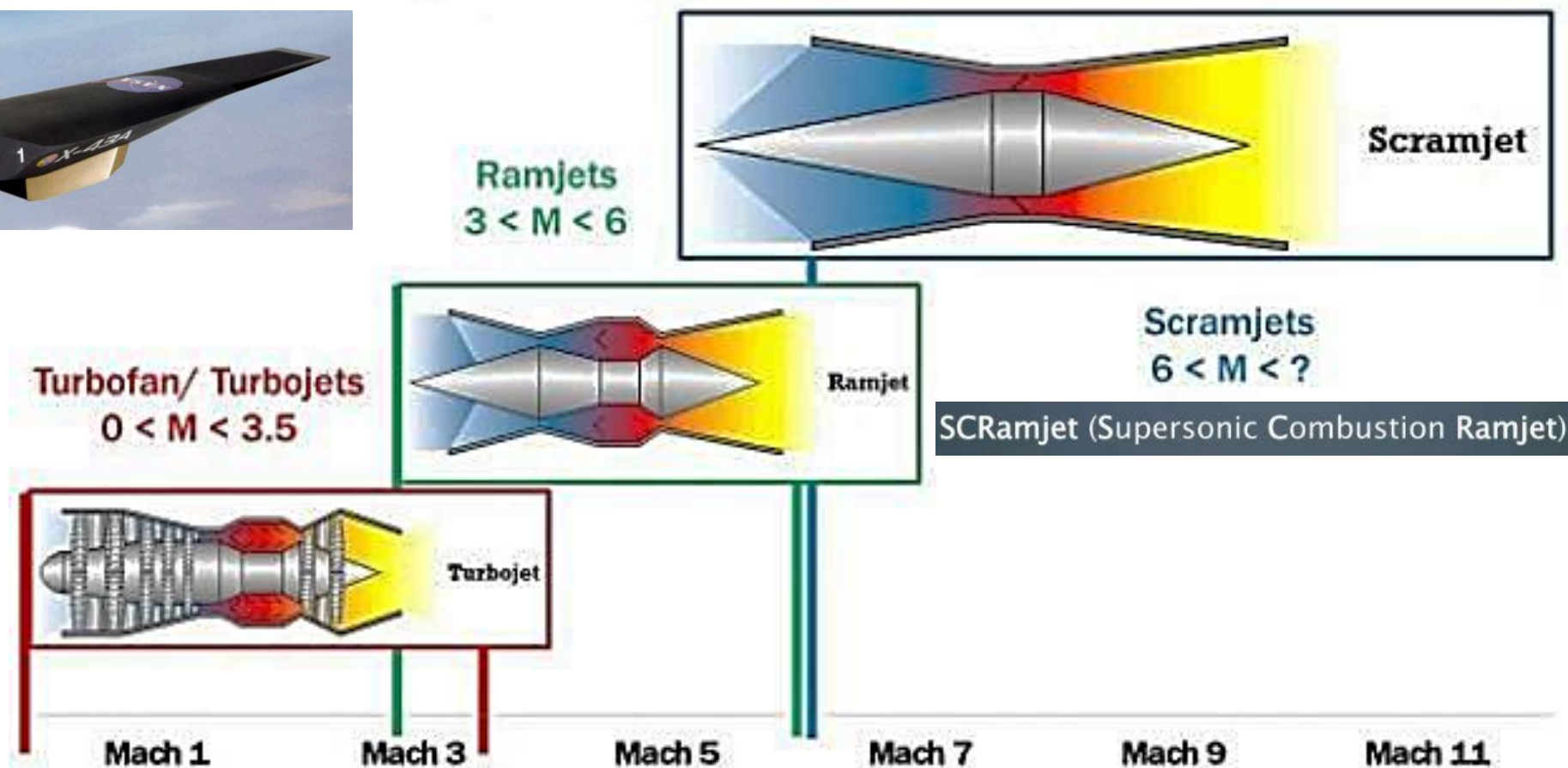
(d) Turbojet engine

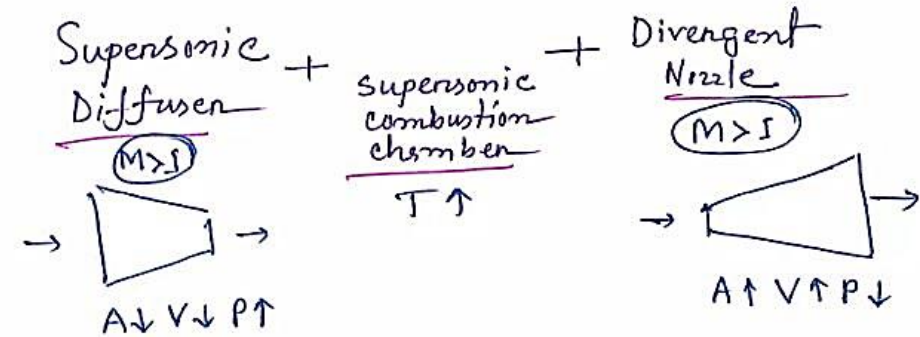
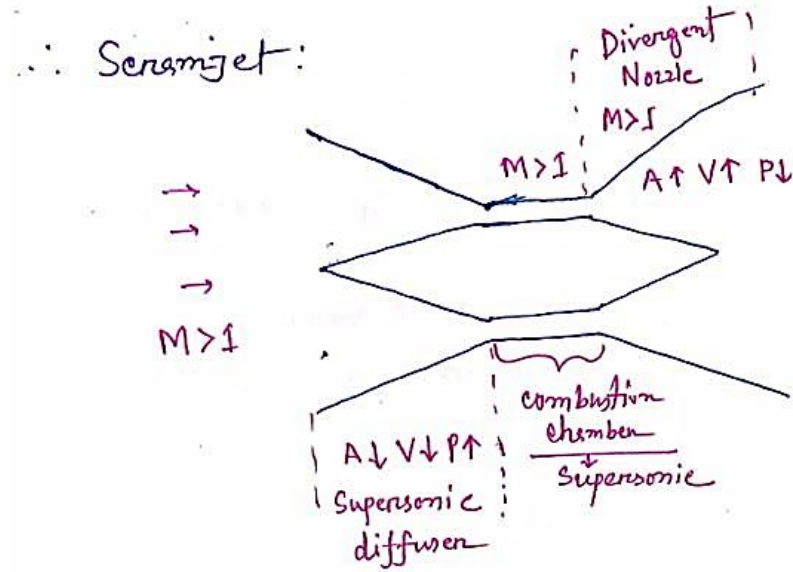
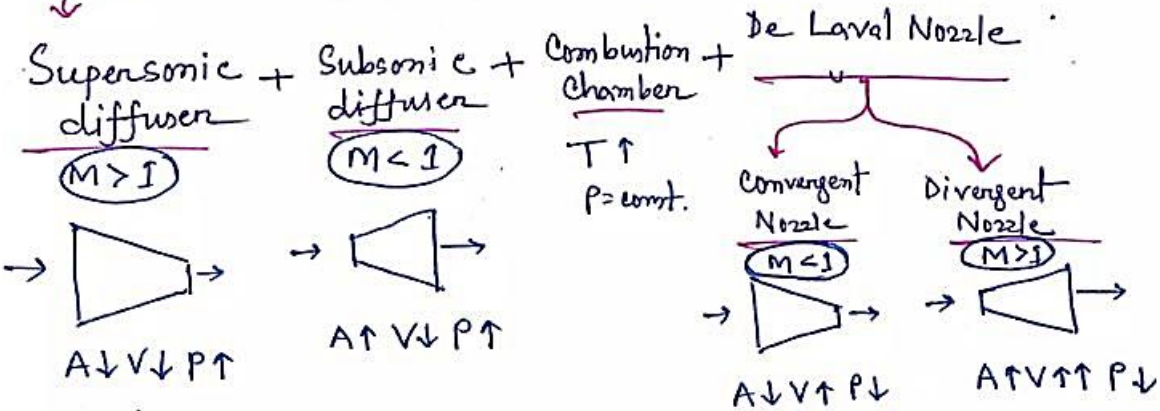
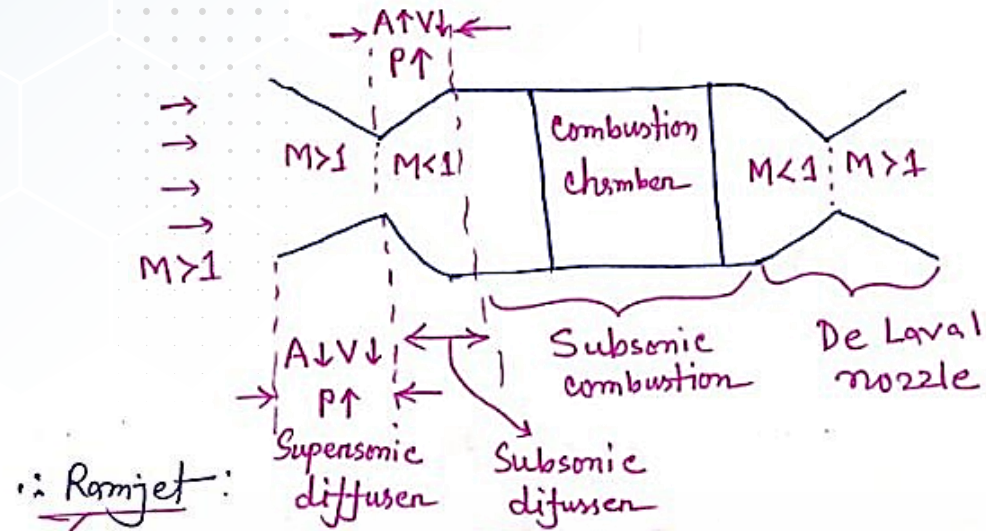


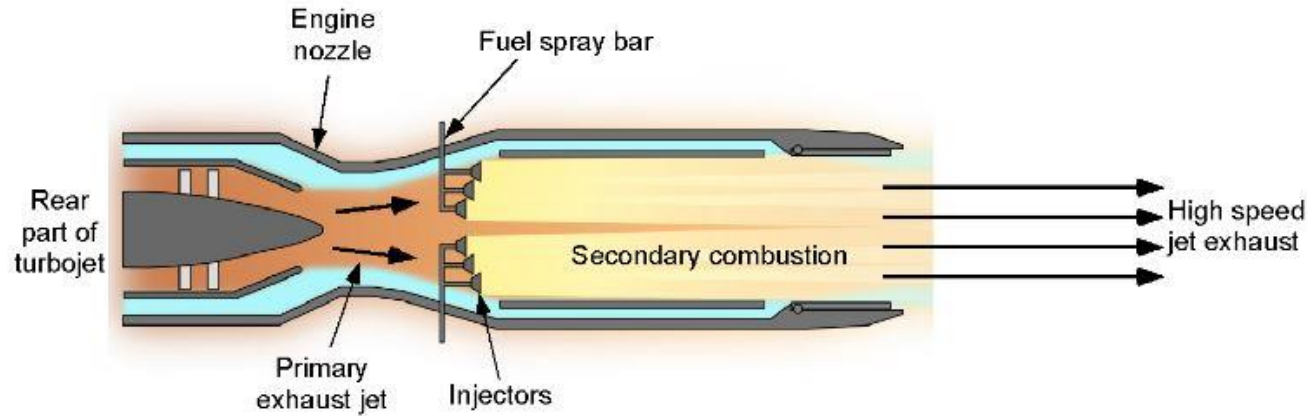




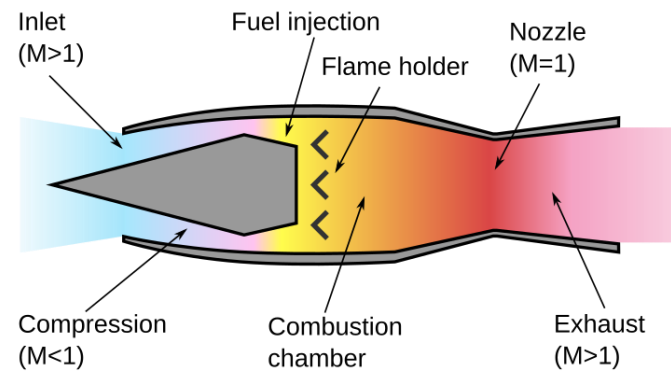
Engine Type by Approximate Mach Number







The principle of an afterburner is relatively simple: Inject and ignite large quantities of fuel in the tailpipe to generate large amounts of extra thrust.



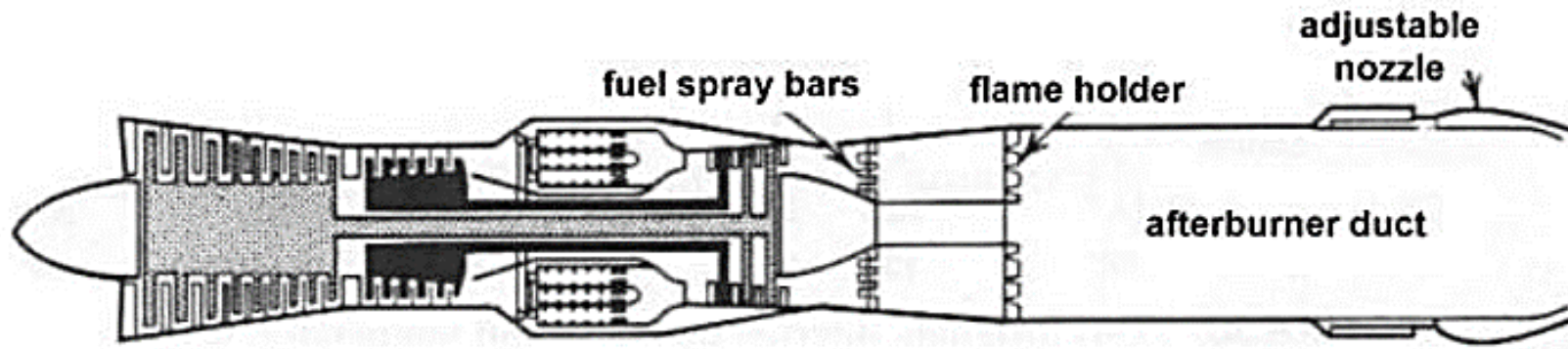
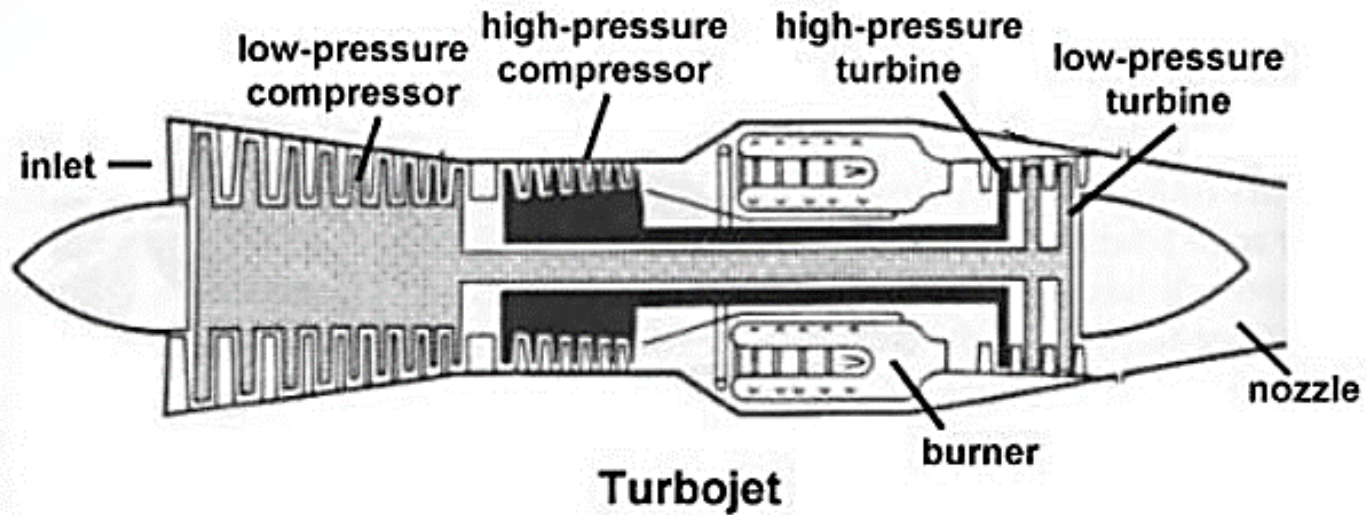
A ramjet is a straightforward air-breathing jet engine with no rotating or moving parts, much like an afterburner.

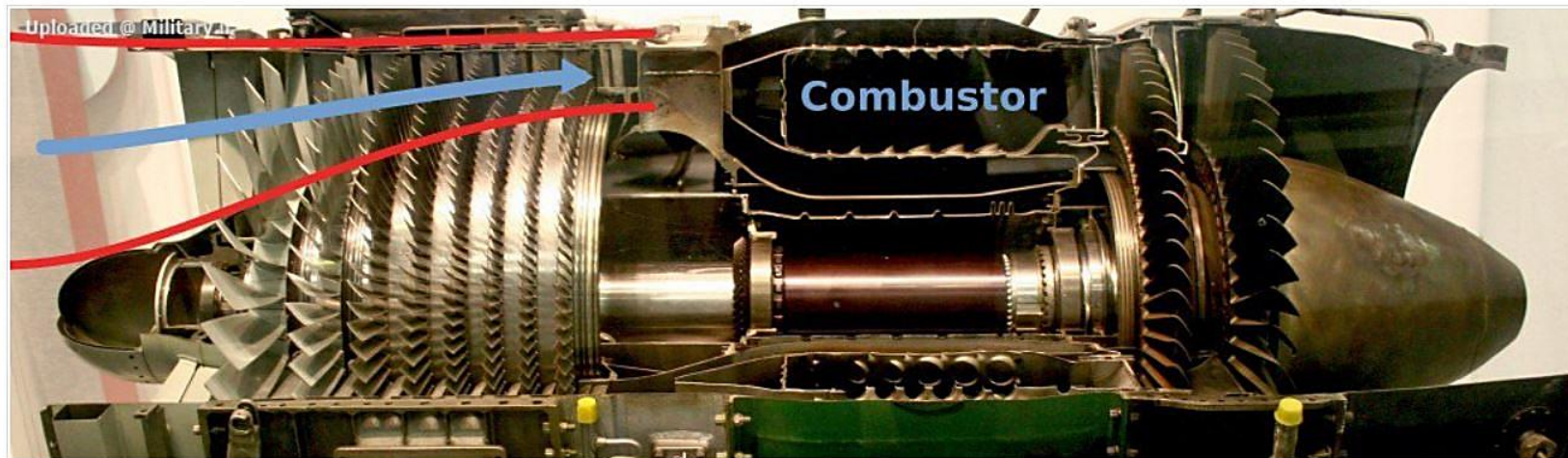
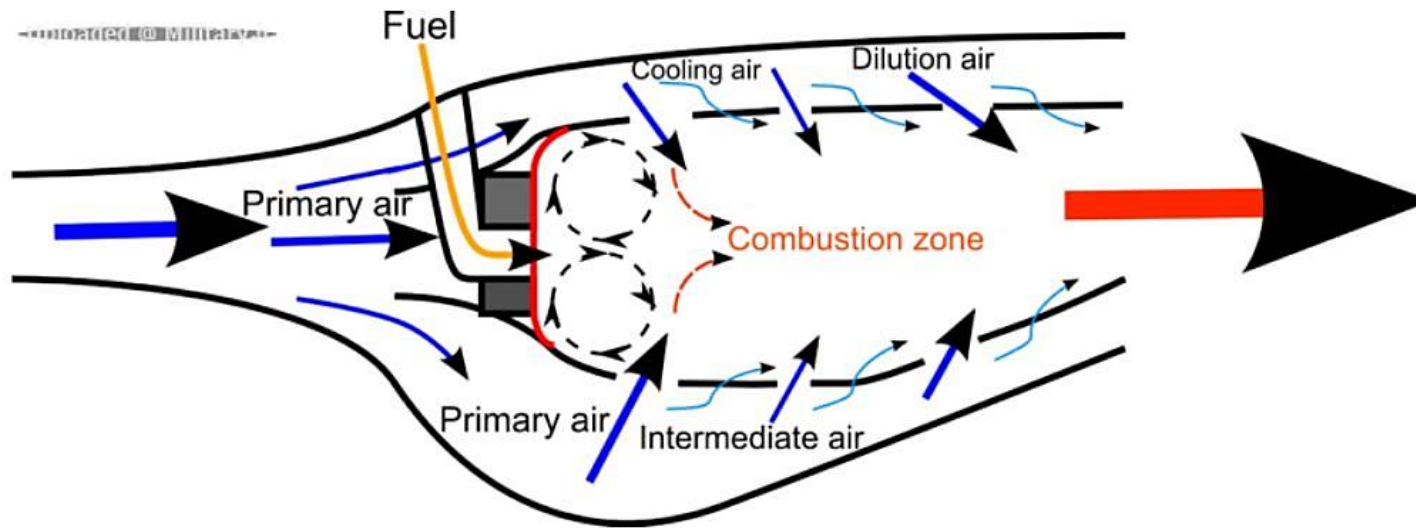




The turbine exhaust is already hot. The afterburner reheats this exhaust to a higher temperature which provides a higher nozzle exit velocity

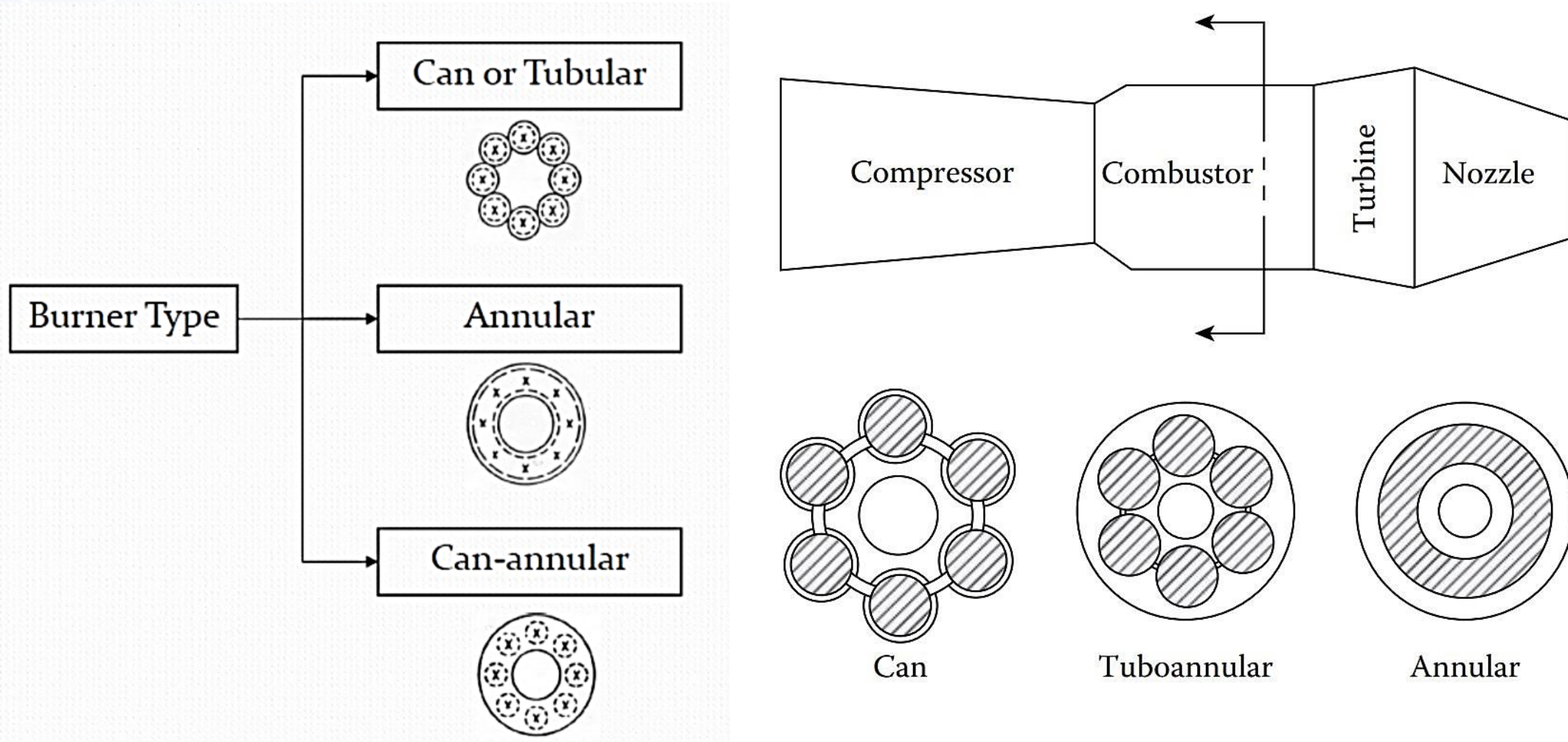
□ در قسمت پس‌سوز، با مشتعل ساختن دوباره گازهای خروجی به‌طور قابل توجهی بر نیروی تراست می‌افزایند. البته استفاده از پس‌سوز فقط در شرایط اضطراری و شرایط جنگی مجاز است در غیر این صورت به علت مصرف بسیار بالای سوخت از آن استفاده نمی‌گردد.





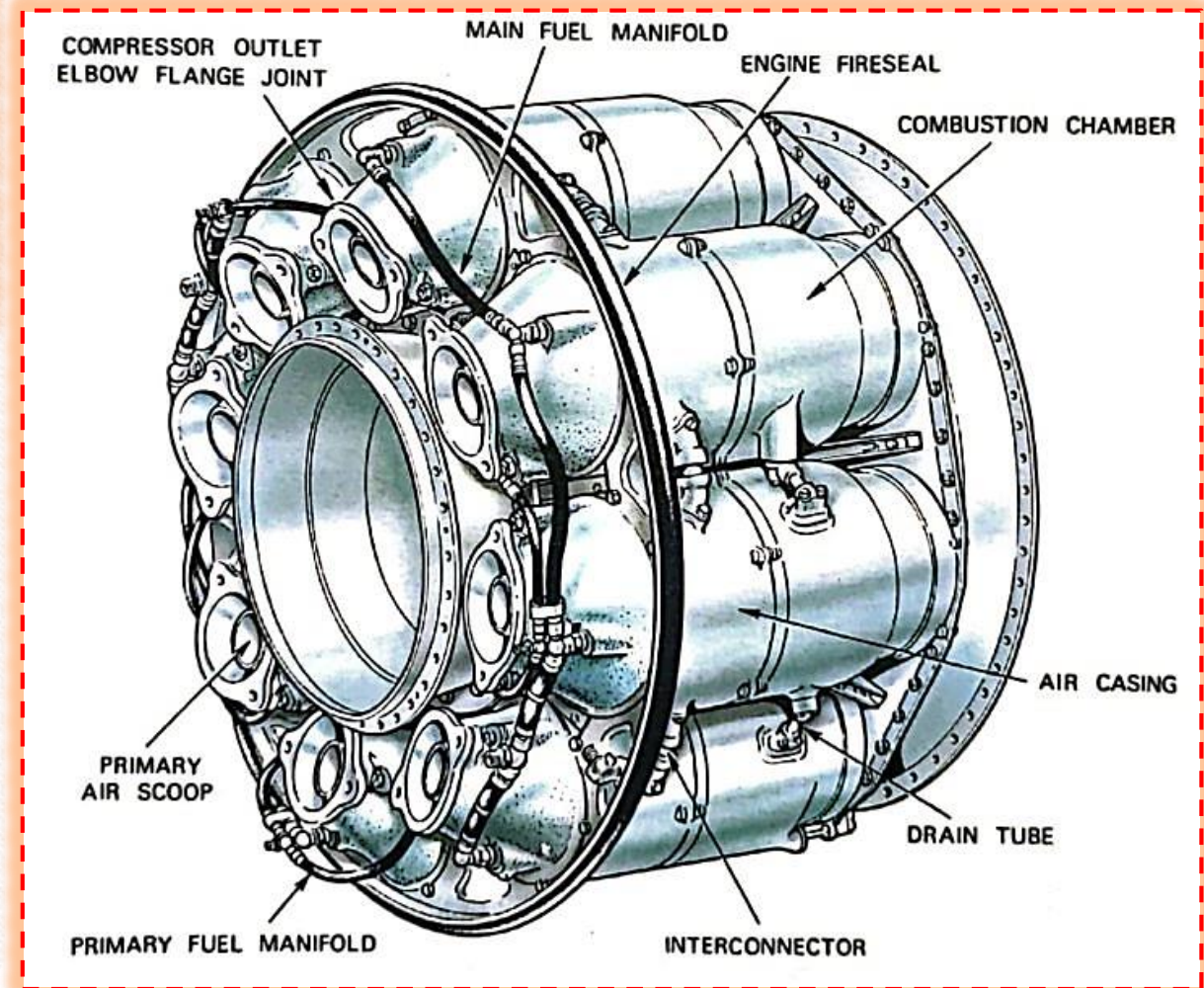
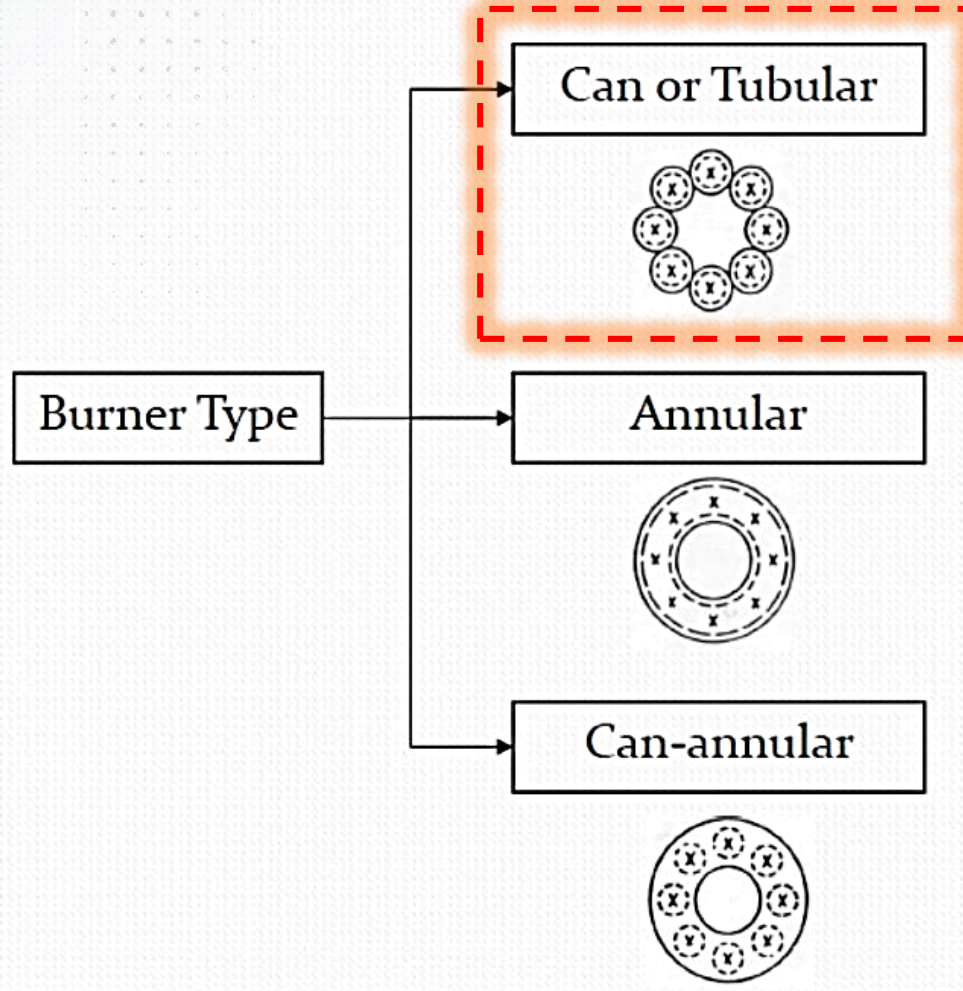


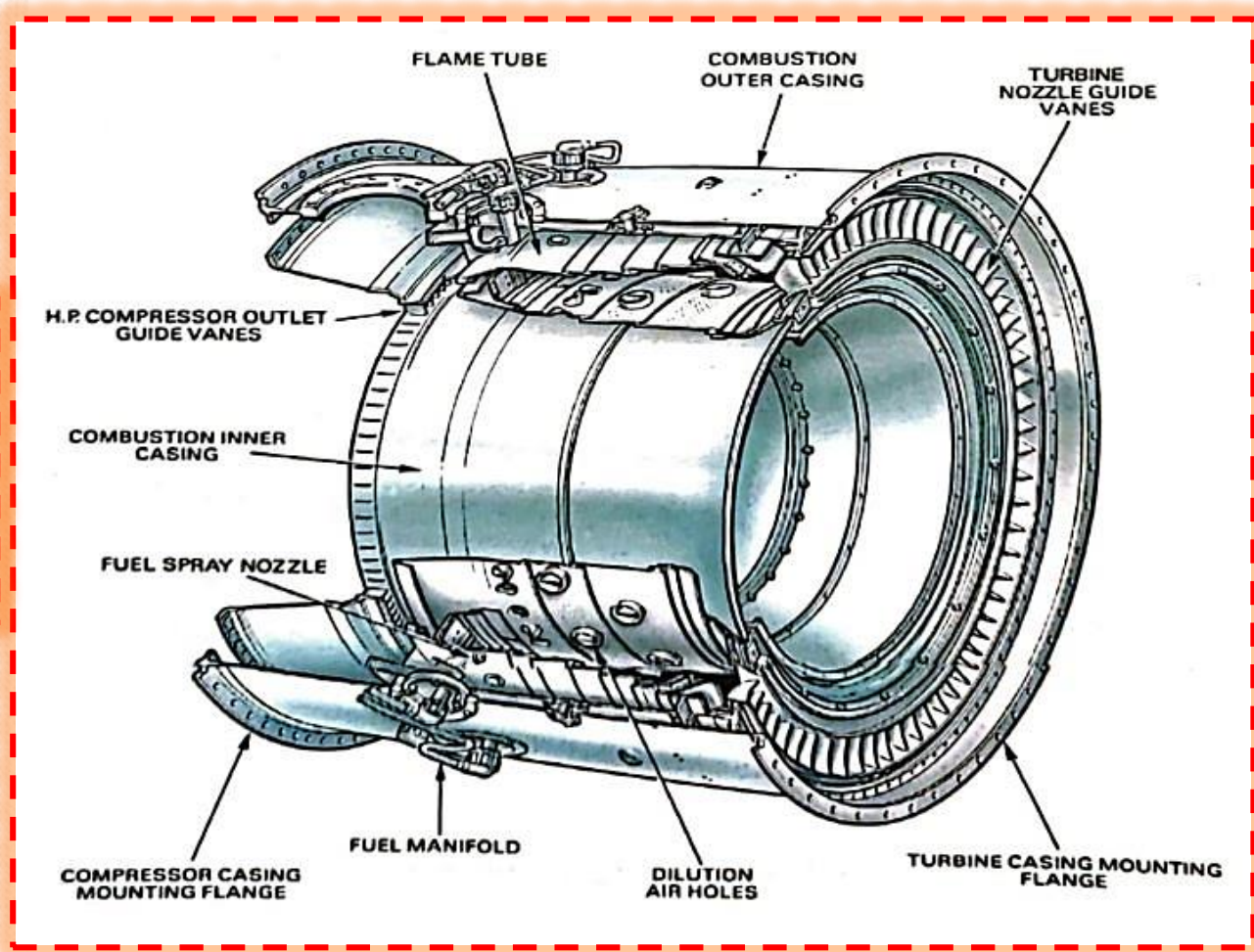
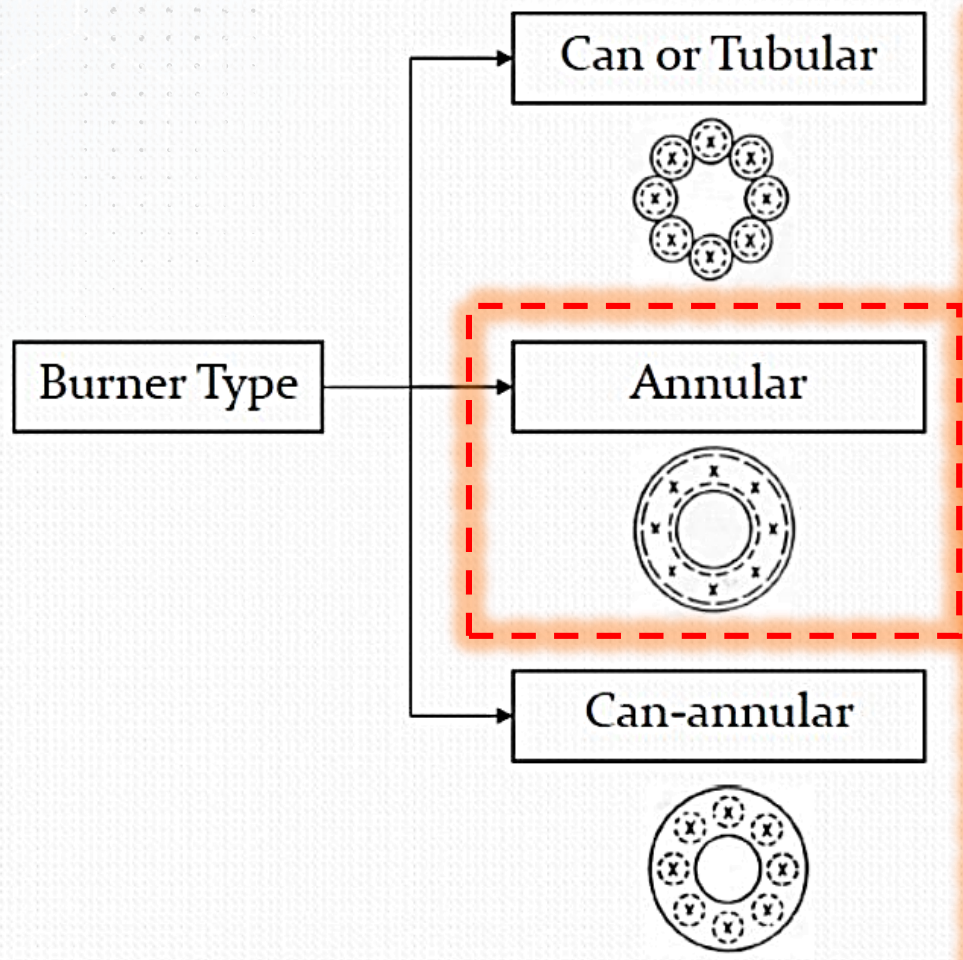
انواع محفظه احتراق

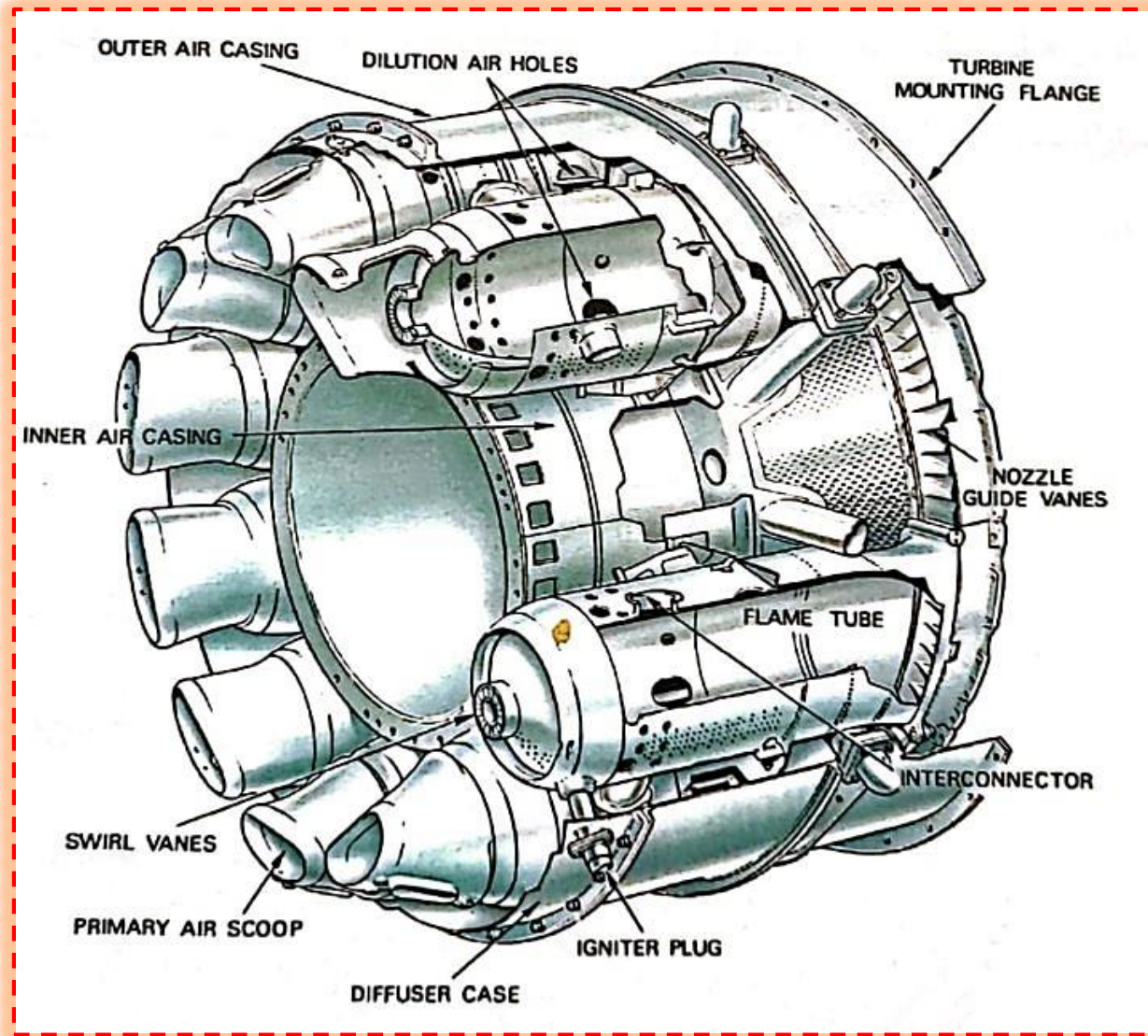
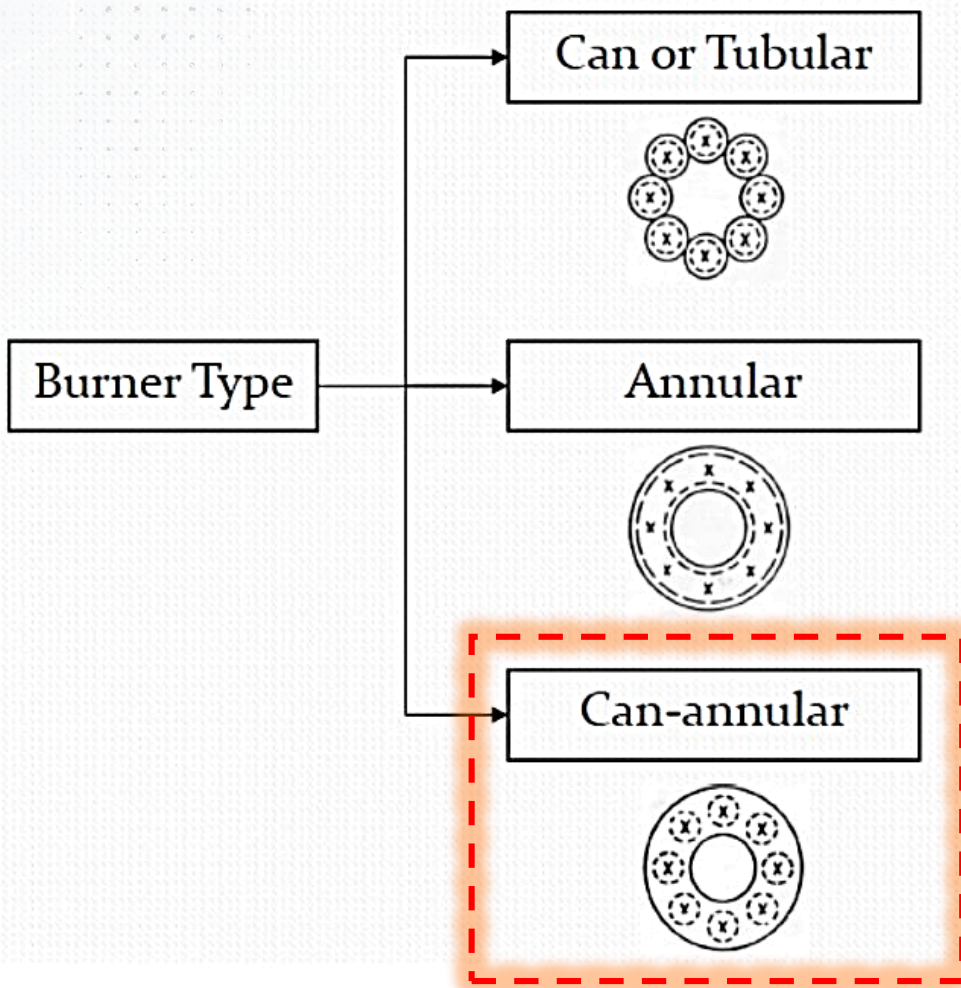


□ محفظه احتراق حلقوی طول کمتری داشته که سبب سبک‌تر شدن آن می‌شود. همچنین، حذف انتشار و پخش شدن احتراق از یک محفظه به محفظه دیگر از مزایای آن در مقایسه با محفظه قوطی شکل است.



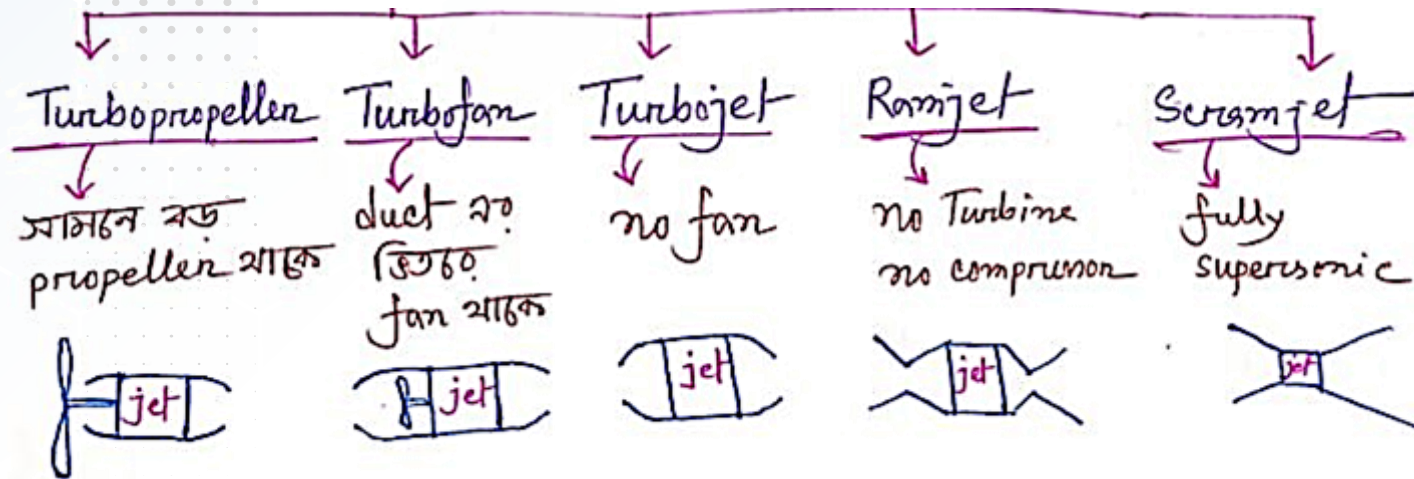




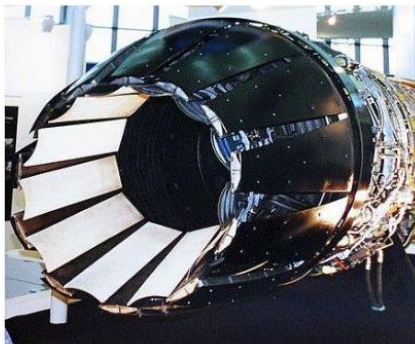




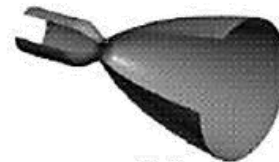
نازل



□ در موتورهای جت، گازهای با دمای بالا و فشار بالا در نازل جهت تولید تراست شتابدهی می‌شوند.



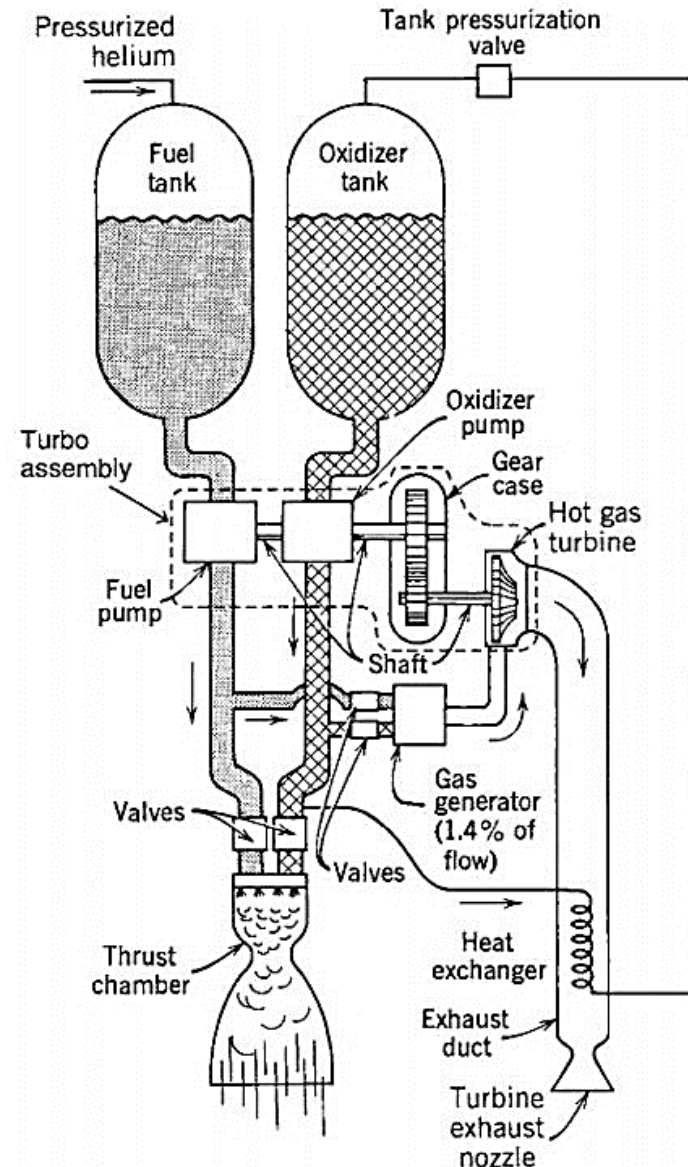
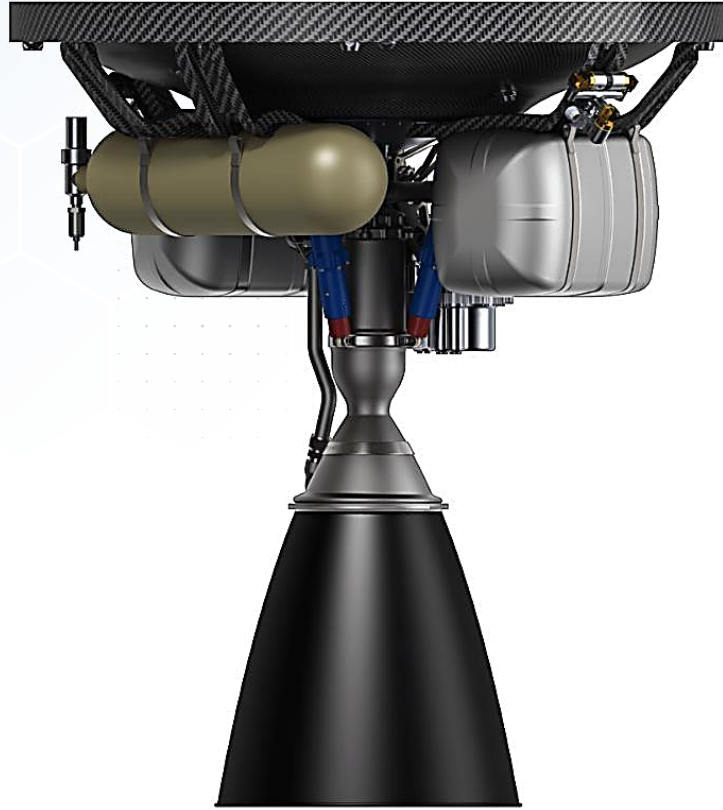
Convergent



Convergent-Divergent (CD)

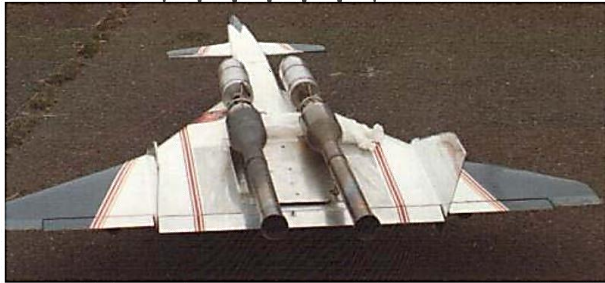


موتور راکت با سوخت مایع



When you study so much about jet engine!
#crazyengineer

Modern pulsejet powered aircraft



سپاس از توجه شما

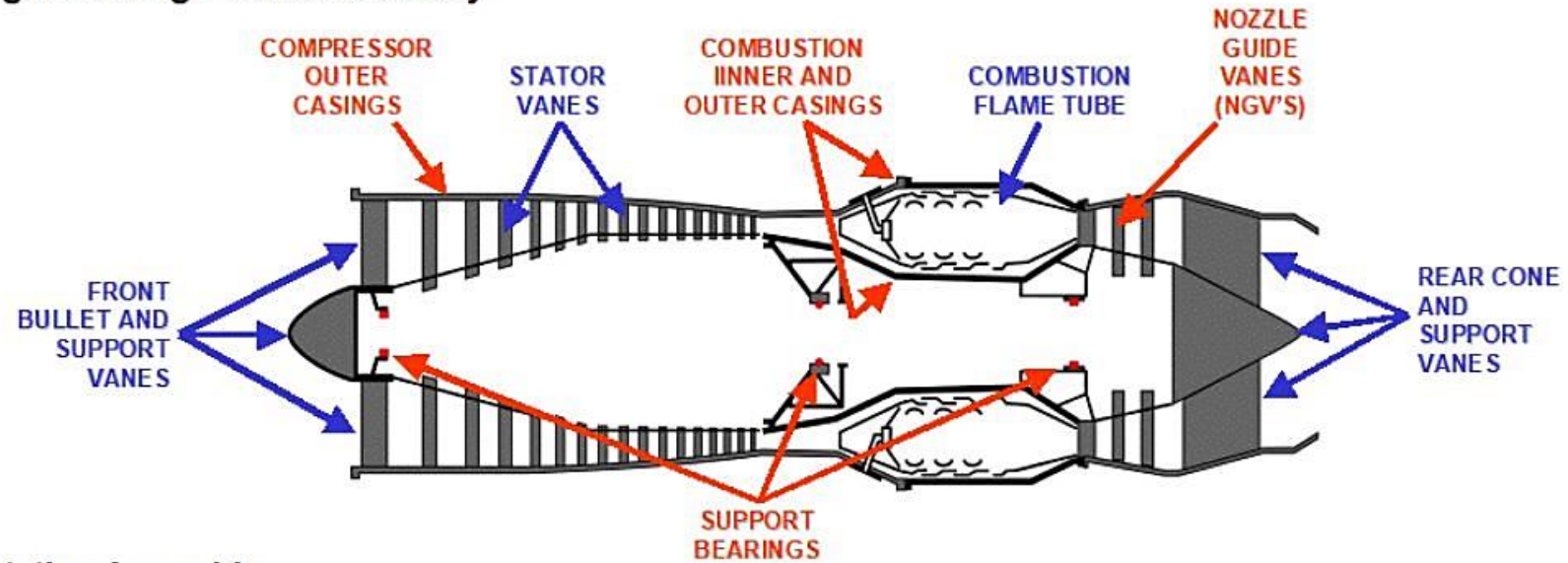


Jet engine+Bicycle= Jetbicycle

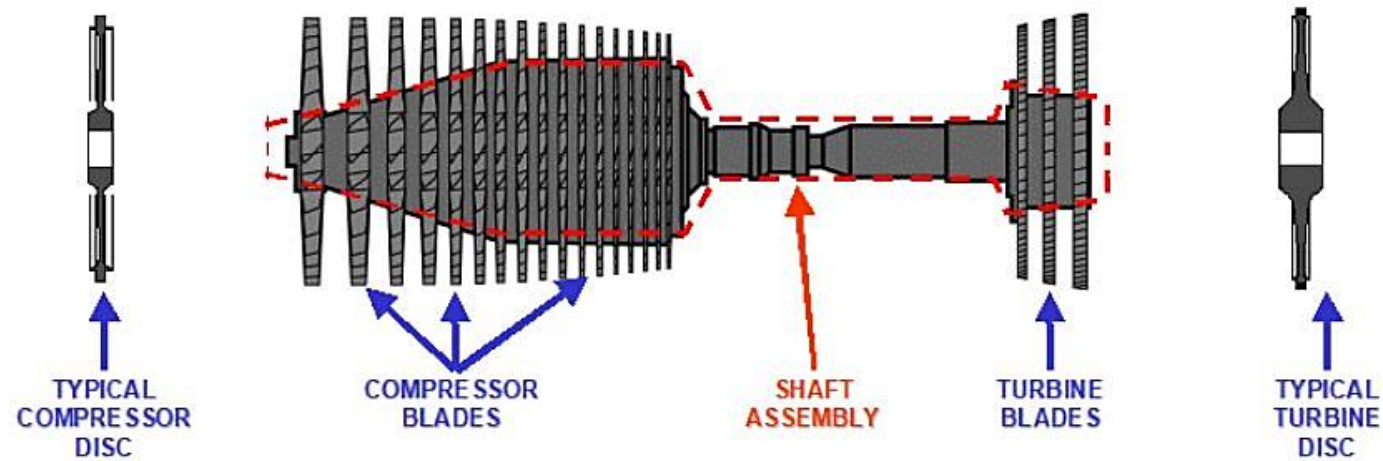


قطعات مختلف توربوجت‌ها شامل یاتاقان‌ها

Engine Casings Static Assembly

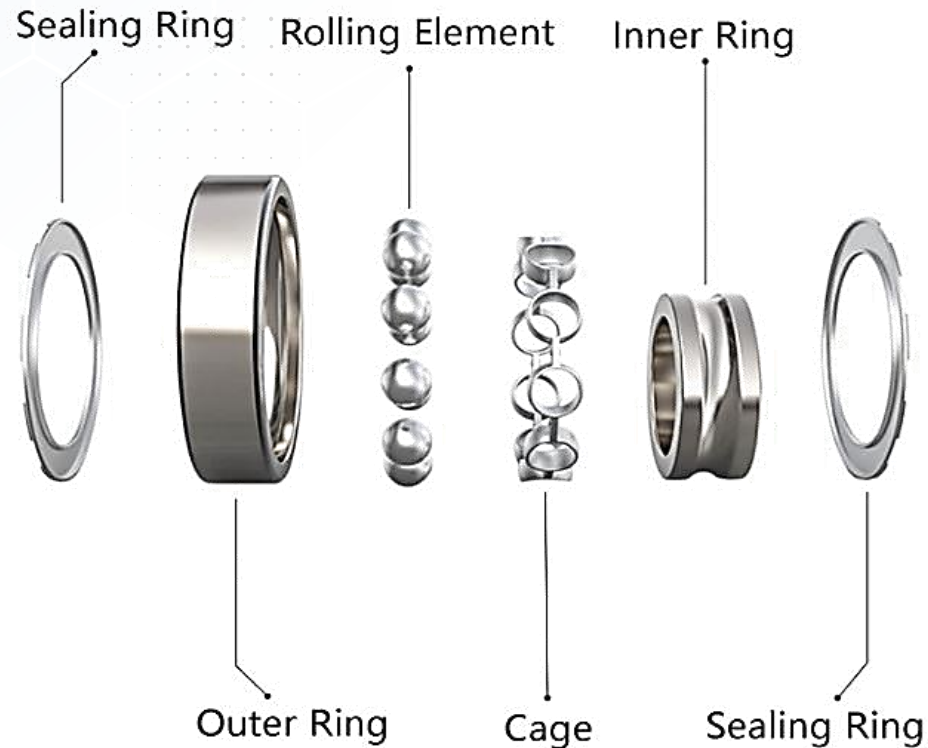


Rotating Assembly



یاتاقان‌ها

❑ یاتاقان یا بیرینگ از عنوان انگلیسی (Bearing) که از فعل to bear به معنی تحمل کردن گرفته شده، وسیله‌ای است که اجازه حرکت نسبی مشخصی را بین دو یا بیشتر از دو قطعه را می‌دهد که به طور نمونه به صورت چرخش یا حرکت خطی است.



❑ بیرینگ واسط بین دو قطعه مکانیکی است که حرکات چرخشی قطعات را تسهیل می‌کند. برخی بیرینگ‌ها که شامل چندین ساچمه فولادی توپی شکل هستند به بلبیرینگ معروف هستند. چنانچه به جای توپی از غلتک در آن استفاده شود به آن رولبیرینگ می‌گویند.

❑ بلبیرینگ‌ها قابلیت تحمل بار کم و سرعت بالا دارند و رولبیرینگ‌ها برای بارهای زیاد و سرعت‌های کم طراحی می‌شوند.

❑ نیروی محوری در اثر تغییرات فشار در دو طرف توربین و نیروی شعاعی در اثر وزن شفت، دیسک و پره‌ها به وجود می‌آید.



یاتاقان‌ها



بیرینگ‌های محوری

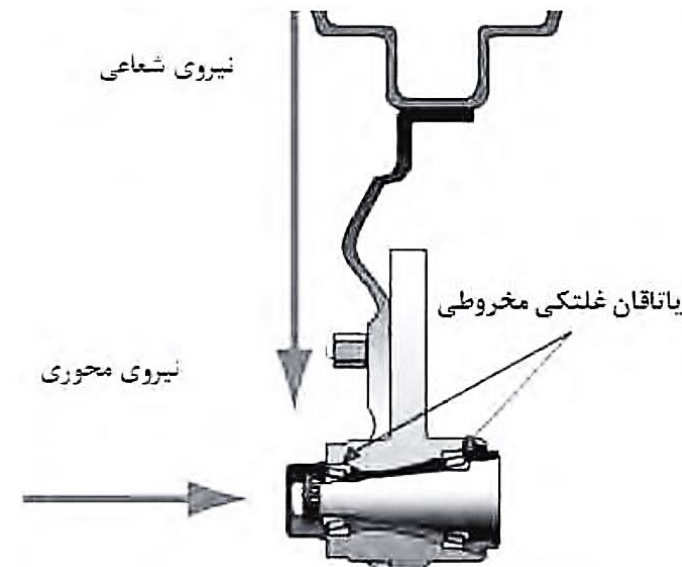


بیرینگ‌های شعاعی

❑ به بیرینگ‌هایی که قابلیت تحمل بارهای شعاعی را داشته باشد، بیرینگ‌های شعاعی گفته می‌شود. تمامی بلبرینگ‌ها و رولبرینگ‌ها تا به حدی می‌توانند بارهای شعاعی را تحمل کنند و تنها بلبرینگ‌های کف گرد قابلیت تحمل هیچ‌گونه بار شعاعی را ندارد.

❑ به بیرینگ‌هایی که قابلیت تحمل بارهای محوری را داشته باشند، بیرینگ‌های محوری گفته می‌شود. مهم‌ترین بیرینگ‌های محوری، بلبرینگ‌ها و رولبرینگ‌های کف گرد هستند که به صورت اختصاصی به همین منظور استفاده می‌شوند.

❑ در برخی از کاربردها، بارهای محوری و شعاعی به صورت همزمان به بلبرینگ وارد می‌شود. به صورت کلی بلبرینگ‌های تماس زاویه‌ای و رولبرینگ‌های مخروطی می‌توانند بارهای شعاعی و محوری را به صورت همزمان تحمل کنند.



انواع یاتاقان‌ها



Ball Bearing



Roller Bearing



Thrust Bearing



Flange Bearing



Sleeve Bearing



Journal Bearing



Magnetic Bearing



Air Bearing



Hydrostatic Bearing



Hydrodynamic Bearing



Flexure Bearing



Kingpin Bearing



Tripod Bearing



Cartridge Bearing



Insert Bearing



Radial Roller Bearing



Miniature Ball Bearing



Needle Thrust Bearing



Precision Ball Bearing



Cam Follower Bearing



Linear Ball Bearing



Linear Roller Bearing



Plain Thrust Bearing



Tapered Roller Bearing



Spherical Roller Bearing



Needle Roller Bearing



Pillow Block Bearing



Radial Ball Bearing



Cross Roller Bearing



Spherical Plain Bearing

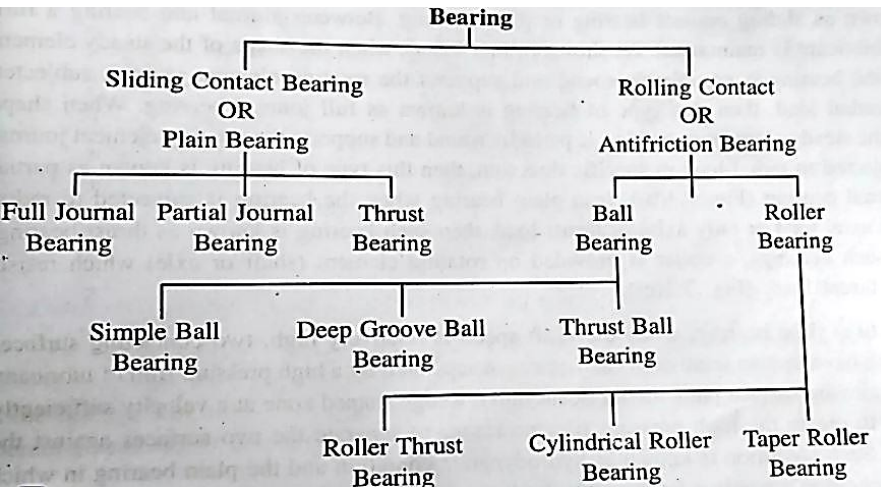


Miniature Ball Bearing

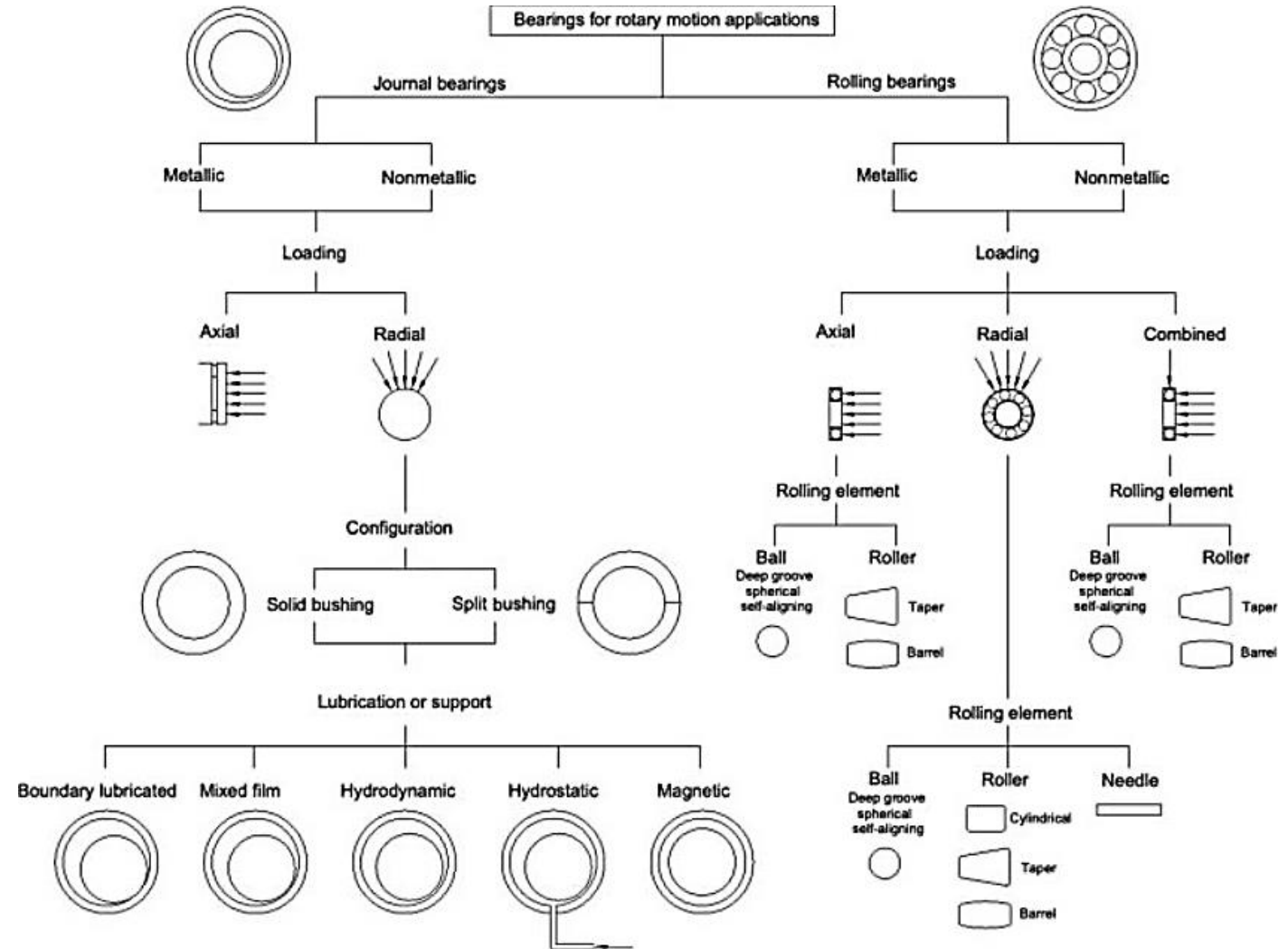


Clutch Release Bearing





انواع یاتاقان‌ها





مقایسه انواع یاتاقان‌ها

Bearings types	Deep groove ball bearings	Angular contact ball bearings	Cylindrical roller bearings	Needle roller bearings	Tapered roller bearings	Self-aligning roller bearings	Thrust ball bearings
Characteristics							
Load carrying capacity							
High speed rotation ^①	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆	☆☆	☆
Low noise/vibration ^①	☆☆☆☆	☆☆☆	☆	☆			☆
Low friction torque ^①	☆☆☆☆	☆☆☆	☆				
High rigidity ^①			☆☆	☆☆	☆☆	☆☆☆	
Allowable misalignment for inner/outer rings ^①	☆					☆☆☆	★
Non-separable or separable ^②			○	○	○		○

① ☆ The number of stars indicates the degree to which that bearing type displays that particular characteristic.

★ Not applicable to that bearing type.

② ○ Indicates both inner ring and outer ring are detachable.

③ Some cylindrical roller bearings with rib can bear an axial load.





نمونه یاتاقان پر کاربرد شیار عمیق



بلبرینگ شیار عمیق ZZ C3 6206 برند skf از ایتالیا دارای واشر فلزی در دو طرف بلبرینگ با ابعاد 30x62x16mm می باشد. این بلبرینگ مناسب برای دور بالا است و لقی داخلی آن C3 بیشتر از حد نرمال است.

Deep Groove Ball Bearing Dimensions

Model	ID	OD	Thick	Model	ID	OD	Thick	Model	ID	OD	Thick
6000	10	26	8	6200	10	30	9	6300	10	35	11
6001	12	28	8	6201	12	32	10	6301	12	37	12
6002	15	32	9	6202	15	35	11	6302	15	42	13
6003	17	35	10	6203	17	40	12	6303	17	47	14
6004	20	42	12	6204	20	47	14	6304	20	52	15
6005	25	47	12	6205	25	52	15	6305	25	62	17
6006	30	55	13	6206	30	62	16	6306	30	72	19
6007	35	62	14	6207	35	72	17	6307	35	80	21
6008	40	68	15	6208	40	80	18	6308	40	90	23
6009	45	75	16	6209	45	85	19	6309	45	100	25
6010	50	80	16	6210	50	90	20	6310	50	110	27
6011	55	90	18	6211	55	100	21	6311	55	120	29
6012	60	95	18	6212	60	110	22	6312	60	130	31
6013	65	100	18	6213	65	120	23	6313	65	140	35
6014	70	110	20	6214	70	125	24	6314	70	150	37
6015	75	115	20	6215	75	130	25	6315	75	160	37
6016	80	125	22	6216	80	140	26	6316	80	170	39

Bearing designation	Boundary dimension (mm)		
Current	d	D	B
6206ZZ	30	62	16

