



این فصل به معرفی یکی از مهم‌ترین اجزای سیستم تهویه مطبوع و نحوه عملکرد آن در این سیستم می‌پردازد، بادزن‌ها نیز بخشی از سیستم توزیع هوا می‌باشند که بنا به اهمیت بالای آن در سیستم تبرید و سوالات مطرح شده‌ی آن در آزمون، در این فصل به صورت جداگانه درباره‌ی آن بحث خواهیم کرد.

۲-۳ بادزن (فن)^۱

فن ماشینی است که از آن برای تولید جریان در داخل یک سیال که معمولاً گازی مانند هوا است، استفاده می‌شود. این کار با چرخش تعدادی پره متصل به یک هاب و شافت که توسط یک موتور و یا توربین رانده می‌شوند، به دست می‌آید. دبی فن‌ها از حدود ۶ الی ۶۰۰۰ متر مکعب در دقیقه می‌باشد.

فن شامل یک مجموعه دوار از تیغه‌ها یا پره‌ها که به عنوان ایمپلر یا پروانه، روتور یا رانر شناخته می‌شوند. معمولاً اجزای فن در داخل نوعی محفظه قرار می‌گیرند که جریان هوا را به صورتی که مانع برخورد اشیا با پره‌های فن شود، هدایت کند. بیشتر فن‌ها به وسیله موتور الکتریکی رانده می‌شوند اما منابع دیگر توان از جمله موتور هیدرولیکی و موتورهای احتراق داخلی نیز ممکن است مورد استفاده قرار گیرند.

۱-۲-۳ انواع بادزن (فن) و مشخصات آن‌ها

طبق فصل دوم نشریه ۱۷۲:

بادزن‌هایی که در تاسیسات گرمایی، تعویض هوا و تهویه مطبوع به کار می‌روند به سه گروه اصلی تقسیم می‌گردند: محوری، گریز از مرکز و بادزن‌ها ویژه.

بادزن‌های محوری^۲ بادزن‌هایی هستند که جهت جریان هوا در چرخ به موازات محور آن‌ها است. این بادزن‌ها در انواع ملخی (propeller)، لوله محوری (tubeaxial) و پره محوری (vaneaxial) رده‌بندی می‌شوند.

بادزن‌های گریز از مرکز^۳ بادزن‌هایی هستند که جهت جریان هوا نسبت به محور، شعاعی (radial) یا دایره‌وار (circular) است. پنج رده از این بادزن‌ها عبارت است از خمیده به جلو (forward curved)، خمیده به عقب (backward curved)، خمیده به عقب به طور اریب (backward inclined)، آئرو دینامیکی (airfoil) و شعاعی (radial).

بادزن‌های ویژه بادزن‌هایی با طراحی متفاوتند، مانند مکند‌های پشت بامی گریز از مرکز یا محوری و بادزن‌های گریز از مرکز لوله‌ای (tubular) که بنام بادزن خطی (inline) هم شهرت دارد.

علاوه بر این‌ها بادزن‌ها از نظر نوع ساخت و کلاس فشار هم طبقه‌بندی می‌شوند که به جهت چرخش، آرایش اجزای محرک، محل موتور، جهت خروج هوا و پهنای چرخ (width of wheel) مربوط می‌شود.

کلاس فشار (Pressure Class):

کلاس‌های فشار (I, II, III, IV) براساس فشاری است که فن تولید می‌کند. هر چه کلاس فشار بالاتر باشد، نمایانگر ساخت سنگین‌تر، فشار، سرعت و ظرفیت بیشتر است.

الزامات مبحث ۱۴ مقررات ملی ساختمان در خصوص ساخت بادزن (هواکش) به شرح زیر است:

ساخت هواکش (۱۴-۵-۴-۲)

قطعات و اجزای هواکش که با گازها، دود و ذرات قابل اشتعال یا انفجار تماس دارند، باید از جنس غیرفلزی یا ضد جرقه باشند، یا محفظه هواکش با مصالحی از این جنس ساخته شده یا روکش‌هایی از این مصالح داشته باشد (بند الف).

اگر اندازه و نوع ذرات گذرنده از هواکش احتمالاً باعث تولید جرقه شود، جنس پره‌های هواکش و بدنه آن باید از نوع ضد جرقه انتخاب شود (بند الف-۱).

یاتاقان هواکش انتخاب شده برای شرایط ضد جرقه نباید در مسیر جریان تخلیه مکانیکی هوا قرارگیرد و قطعات آن باید اتصال زمین داشته باشند (بند الف-۲).

^۱ Fan

^۲ Axial Fan

^۳ Centrifugal Fans



در فضاهایی مانند چوب‌بری و نجاری، اگر احتمال گیر کردن ذرات معلق در هوا در میان پره‌های هواکش وجود داشته باشد، هواکش باید از نوع "پره - شعاعی" یا "لوله - محوری" انتخاب شود (بند ب).
جنس هواکشی که برای انتقال هوای حاوی مواد خورنده به کار می‌رود باید، در برابر اثر این مواد مقاوم یا دارای پوشش مقاوم باشد (بند پ)

پرسش ۱-۳) مشترک در فن‌های سانتریفیوژ کدام نوع پروانه برای کاربردی که در آن جریان هوا حاوی ذرات معلق درشت است، مناسب‌تر است؟ (مهر ۱۴۰۲ (طراحی) «۵۳»)

الف) Plug ب) Forward ج) Backward د) Radial

پاسخ) طبق بند «ب» آیین‌نامه ۱۴-۵-۲ صفحه ۵۳ مبحث ۱۴، گزینه د صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش «۷» آزمون "نظارت مرداد" سال ۱۴۰۳ و مشابه پرسش «۱۰» آزمون "طراحی مرداد" سال ۱۴۰۰ و مشابه پرسش «۳۶» آزمون "طراحی اردیبهشت" سال ۹۷ می‌باشد.

پرسش ۲-۳) مشترک برای تخلیه هوا در یک نجاری کدام نوع فن گریز از مرکز مناسب است؟ (دی ۱۴۰۱ (اجرا) «۳۹»)

الف) Backward ب) Forward ج) Radial د) استفاده از فن گریز از مرکز مجاز نیست.

پاسخ) طبق بند «ب» آیین‌نامه ۱۴-۵-۲ صفحه ۵۳ مبحث ۱۴، گزینه ج صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش «۴۵» آزمون "نظارت مهر" سال ۹۶ می‌باشد.

بادزن‌های محوری

طبقه‌بندی عمومی بادزن‌های محوری عبارتند از: ملخی (P)، لوله محوری (TA) و پره محوری (VA).



بادزن ملخی
Propeller Fan



بادزن پره محوری
Vane Axial Fan



بادزن لوله محوری
Tube Axial Fan

شکل (۱-۳): بادزن‌های محوری

الف) بادزن‌های ملخی (Propeller Fans):

این نوع بادزن هوادهی زیاد با فشار کم دارد. یکی از کاربردهای این بادزن جریان دادن هوا در یک اتاق یا تخلیه هوا از آن است. از بادزن‌های ملخی بزرگ گاهی در برج‌های خنک‌کن استفاده می‌شود، بدنه این بادزن‌ها معمولاً یک پوسته دایره‌ای (ring enclosure) است و معمولاً دو یا چند عدد پره یک جداره دارند. بادزن‌های ملخی معمولاً راندمان خوبی ندارند. یکی از مشخصه‌های بادزن ملخی این است که توان کار (operating horsepower) که به نام توان حقیقی (Brake horsepower) خوانده می‌شود، در حداکثر مقدار هوا کمترین، و در حداقل مقدار هوا بیش‌ترین میزان را دارد.

ب) بادزن‌های لوله محوری (Tubeaxial Fans):

بادزن‌های ملخی سخت کار (heavy duty) هستند که در مواردی مانند تخلیه هودها، کیوسک‌های رنگ زنی و فرهای خشک‌کن کاربرد دارند. چرخ بادزن لوله محوری در یک استوانه لوله‌ای محصور شده است و شبیه چرخ بادزن ملخی است. تفاوت اساسی این بادزن با ملخی در این است که تعداد پره‌ها بیشتر (۴ تا ۸ عدد) است و ساخت آن‌ها ضخیم‌تر و سنگین‌تر است. راندمان بادزن‌های لوله محوری بیش از ملخی است و در حداکثر هوادهی بالاترین راندمان را دارد. همانند بادزن ملخی، توان بادزن‌های لوله محوری در حداکثر هوادهی کمترین میزان را دارد.

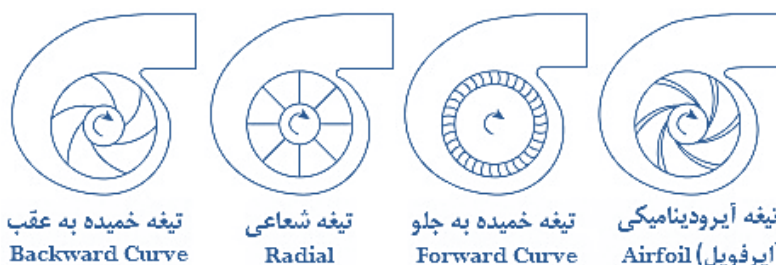


ج) بادزن‌های پره محوری (Vaneaxial Fans):

این بادزن‌ها در واقع همان بادزن لوله محوری هستند ولی تیغه‌های یکنواخت کننده دارند. این بادزن‌ها تاسیسات تهویه مطبوع (HVAC) برای هوارسانی با کانال به ساختمان‌های اداری و دیگر ساختمان‌های تجاری استفاده می‌شود. بدنه این بادزن شبیه لوله محوری است و فقط تیغه هدایت کننده برای یکنواخت کردن جریان هوا به آن اضافه می‌شود. این نوع بادزن در میان انواع بادزن‌های محوری بالاترین راندمان را داراست. چرخ بادزن‌های پره محوری کوتاه‌تر و ناف آن بزرگ‌تر از لوله محوری است ولی همانند لوله محوری و ملخی، توان کاری‌اش در حداکثر مقدار هوا کمترین میزان است.

بادزن‌های گریز از مرکز

این بادزن‌ها در چهار گروه طبقه‌بندی می‌شوند که عبارت است از: تیغه خمیده به جلو (FC)، تیغه خمیده به عقب (BC)، یا به صورت اریب (BI)، آئرو دینامیکی (AF) و شعاعی (R).



شکل (۲-۳): بادزن گریز از مرکز و انواع پروانه آن

الف) بادزن با پره‌های خمیده به جلو (The Forward Curved Fan)

این بادزن گاهی به نام بادزن قفس سنجابی (squirrel cage) خوانده می‌شود و به طور عام در دستگاه‌های خانگی و کاربردهای کوچک صنعتی و تجاری استفاده می‌شود. یکی از مشخصه‌های این بادزن این است که وقتی مقدار هوا کم است توان کار هم کم است و به تدریج که میزان هوادهی زیاد می‌شود توان نیز افزایش می‌یابد.

ب) بادزن با پره‌های خمیده به عقب و خمیده به عقب و اریب (The Backward Curved Fan and Backward Inclined Fans)

چرخ این بادزن‌ها دارای ۱۰ الی ۱۶ پره است که خمیدگی یا اریبی آنان خلاف جهت چرخش است. توان کار این بادزن‌ها با افزایش مقدار هوا ازدیاد می‌یابد (فقط تا یک نقطه مشخص) و سپس رو به کاهش می‌گذارد. به همین دلیل به این‌ها، بادزن "اضافه بار نشدنی" non overloading می‌گویند. به عبارت دیگر، اگر موتور الکتریکی آن درست انتخاب شود، صرف نظر از مقدار هوادهی، هیچگاه بیش از حداکثر آمپر نوشته شده بر پلاک مشخصات را نخواهد کشید. راندمان بادزن‌های با پره خمیده به عقب (backward) بیشتر از پیش خمیده ولی کمتر از آئرو دینامیکی است.

ج) بادزن‌های آئرو دینامیکی (The Airfoil Fans)

بالاترین راندمان را در گروه بادزن‌های گریز از مرکز دارد. چرخ بادزن ۱۰ الی ۱۶ پره آئرو دینامیکی مشابه بال هواپیما دارد و خمیدگی پره‌های آن در خلاف جهت چرخش است. همانند بادزن‌های با پره خمیده به عقب توان کار تا یک نقطه با میزان هوادهی افزایش می‌یابد ولی پس از آن به تدریج کم می‌شود. بنابراین، بادزن‌های آئرو دینامیکی هم "اضافه بار نشدنی" هستند.

د) بادزن‌های رادیال (شعاعی)

در کاربردهای سنگین صنعتی مانند جمع‌آوری زواید و خاک اره ماشین‌های برش چوب استفاده می‌شود. بدنه آن سنگین وزن است. چرخ بادزن هم معمولاً سنگین ساخته می‌شود و پره‌های باریک و با قطر زیاد دارد. چرخ حدود ۶ الی ۱۰ پره پارویی (paddle) دارد که گاهی اوقات برای حفاظت به آن لایه مخصوصی این اضافه می‌شود.



این بادزن‌ها کمترین راندمان را در گروه خود دارند. با ازدیاد مقدار هوادهی توان کار هم افزایش می‌یابد. بنابراین بادزن‌های شعاعی همانند بادزن‌های با پره پیش خمیده از نوع "اضافه بار شدنی" هستند.

بادزن‌های ویژه

از جمله بادزن‌های ویژه می‌توان به فن مماسی اشاره کرد که به طور گسترده در صنعت تهویه مطبوع استفاده می‌شود. معمولاً طول این فن نسبت به قطر آن زیاد بوده به‌طوری‌که جریان در محل‌های دور از دو انتها دو بعدی می‌ماند، این نوع فن از یک ایمپلر با پره‌های خمیده به جلو استفاده می‌کند که درون یک محفظه متشکل از یک دیوار عقبی و یک دیوار گردابی قرار دارد. بر خلاف ماشین‌های شعاعی، جریان اصلی در عبور از ایمپلر به صورت متقاطع حرکت کرده و دوبار از پره‌ها می‌گذرد.

نکته ۳-۱) فن سانتریفیوژ با تیغه‌های رو به عقب در مقابل تغییرات فشار استاتیک سیستم هوارسانی فشار بالا عملکرد مناسبی دارد کاربرد فن با تیغه‌های رو به عقب، استفاده بهینه از ظرفیت هوادهی فن را در راندمان بالاتر را ممکن می‌سازد به عبارت دیگر این نوع دمنده راندمان کارکرد بالاتر و سطح صدای کمتر دارد و تغییرات فشار سیستم، تغییرات کمی در مقدار هوادهی ایجاد می‌کند و فن سانتریفیوژ با تیغه‌های رو به جلو برای دبی‌های زیاد با فشار کم و فن‌های محوری برای فشارهای کم بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

پرسش ۳-۳) مشترک در کاربری فن‌های نوع سانتریفیوژ، کدام گزینه صحیح است؟ (شهریور ۸۶ «۱۲»)

الف) فن با تیغه‌های رو به جلو (Forward Curve) برای سیستم‌های هوارسانی کم فشار خانگی و فن با تیغه‌های رو به عقب (Backward Curve) برای سیستم‌های هوارسانی با فشار بالا کاربرد دارد.

ب) کاربرد فن با تیغه‌های رو به جلو، استفاده بهینه از ظرفیت هوادهی فن را در راندمان بالاتر ممکن می‌سازد.

ج) کاربرد فن با تیغه‌های رو به عقب، استفاده بهینه از ظرفیت هوادهی فن را در راندمان بالاتر ممکن می‌سازد.

د) هر دو مورد (الف) و (ج) درست است.

پاسخ) طبق نکته بالا، گزینه د صحیح است.

پرسش ۳-۴) مشترک شرایط کارکرد دمنده هوای سانتریفیوژ با تیغه‌های خم شده به عقب، در مقایسه با انواع دمنده‌های دیگر چیست؟ (اسفند ۸۹ «۸»)

الف) این نوع دمنده راندمان کارکرد بالاتر و سطح صدای کمتر دارد.

- تغییرات فشار سیستم، تغییرات کمی در مقدار هوادهی ایجاد می‌کند.

ب) این نوع دمنده راندمان بیشتر و سطح صدای بیشتر دارد.

- تغییرات فشار سیستم با تغییرات مقدار هوادهی متناسب است.

ج) این نوع دمنده‌ها راندمان کار پایین‌تر و سطح صدای بیشتر دارد.

- این نوع دمنده در سیستم‌های با فشار استاتیکی بالا مناسب است.

د) این نوع دمنده‌ها در یک ظرفیت مشخص در سرعت پایین‌تر، نسبت به انواع دیگر دمنده‌ها کار می‌کند.

- صدای این نوع دمنده کمتر است.

پاسخ) طبق نکته بالا، گزینه الف صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش «۳۷» آزمون "فرداد" سال ۹۳ می‌باشد.

پرسش ۳-۵) مشترک نوع پروانه فن مکنده هوا جهت تخلیه هوای سقفی که روی بام نصب می‌شود، عموماً از چه نوعی است؟ (مهر ۱۴۰۲ (نظارت) «۲۴»)

الف) پروانه محوری ب) محدودیتی ندارد ج) پروانه شعاعی د) پروانه با پره‌های خمیده

پاسخ) طبق نقشه 2-305-09-2 M.D. نشریه ۶-۱۲۸-۲، عموماً برای نوع پروانه فن مکنده هوا از پروانه با پره‌های خمیده به عقب استفاده می‌شود. گزینه د صحیح است.

نکته ۳-۲) طبق جدول ۲-۲ صفحه ۹-۲ نشریه ۱۷۲، احتمال اضافه بار الکتروموتور در هوادهی آزاد فن در بادزن‌های نوع Forward و Radial وجود داشته و در بادزن‌های Backward و Airfoil وجود ندارد.



پرسش ۳-۶) مشترک در صورتی که الکتروموتورها یک فن گریز از مرکز با دور مشخص براساس نقطه کاری با حداکثر راندمان انتخاب شود، کدام گزینه صحیح است؟ (مهر ۹۹ (طراحی) «۴۸»)

الف) اگر فن از نوع Forward باشد، احتمال اضافه بار الکتروموتور در هوادهی آزاد فن وجود دارد.

ب) اگر فن از نوع Backward باشد، احتمال اضافه بار الکتروموتور در هوادهی آزاد فن وجود دارد.

ج) اگر فن از نوع Radial باشد، احتمال اضافه بار الکتروموتور در هوادهی آزاد فن وجود دارد.

د) گزینه‌های ۱ و ۳ صحیح است.

پاسخ) طبق نکته بالا، گزینه د صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش «۱۴۳» آزمون «طراحی بهمن» سال ۹۷ و مشابه پرسش «۱۱» آزمون «طراحی مرداد» سال ۱۴۰۳ می باشد.

۳-۳ توان و بازده فن

۳-۳-۱ محاسبه توان فن

توان فن بیانگر مقدار انرژی است که فن باید دریافت کرده تا بتواند مقدار خاصی از جریان هوا را تولید کند، توان فن تابعی از فشار و جریان هواست و واحدهای اسب بخار معمولاً معیار مورد استفاده برای آن می‌باشد.

توان مفید فن (HP یا P): مقدار توانی است که توسط فن به جریان هوا داده می‌شود.

توان ترمزی (حقیقی) فن (BHP یا BP): مقدار توانی که به فن داده می‌شود تا جریان هوا را تولید کند.

توان کل یا توان ورودی به فن (THP یا TP): مقدار توانی است که به موتور فن برای ایجاد جریان هوا داده می‌شود.

در جدول زیر روابط مربوط به توان فن‌ها در دو سیستم SI و IP آمده است:

جدول (۳-۱): روابط توان بازن در سیستم‌های SI و IP

سیستم IP	سیستم SI	توان مصرفی
توان برحسب اسب بخار (hp)	توان برحسب وات (W)	
$HP = \frac{\dot{V}(\text{cfm}) \times H(\text{inH}_2\text{O})}{6356} \times \lambda$	$P(W) = \rho \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \times g \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) \times \dot{V} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) \times H(\text{m.air})$	توان مفید
$BHP = \frac{\dot{V}(\text{cfm}) \times H(\text{inH}_2\text{O})}{6356 \times \eta_f} \times \lambda$	$BP(W) = \frac{\rho \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \times g \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) \times \dot{V} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) \times H(\text{m.air})}{\eta_f}$	توان ترمزی
$THP = \frac{\dot{V}(\text{cfm}) \times H(\text{inH}_2\text{O})}{6356 \times \eta_f \times \eta_m} \times \lambda$	$TP(W) = \frac{\rho \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \times g \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) \times \dot{V} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) \times H(\text{m.air})}{\eta_f \times \eta_m}$	توان کل

پرسش ۳-۷) مشترک برای یک فن سانتریفیوژ Backward که در یک سیستم تعویض هوا نصب شده، نقطه کارکرد با حداکثر راندمان به دست آمده است. با فرض ثابت ماندن دور فن، در صورتی که افت فشاری فیلتر هوا به دلیل وجود گرد و غبار هوا به مرور بیش‌تر شود..... (اسفند ۱۴۰۲ (اجرا) «۱۲»)

الف) دبی فن کاهش و توان ترمزی فن افزایش می‌یابد

ب) دبی فن کاهش و توان ترمزی فن کاهش می‌یابد

ج) نقطه کارکرد فن به سمت راست نقطه کارکرد ابتدایی منتقل شود

د) هیچکدام

پاسخ) با توجه به وجود گرد و غبار کاملاً مشخص است که دبی کاهش می‌یابد و همچنین دبی و توان با هم رابطه‌ی مستقیم داشته پس توان نیز کاهش می‌یابد. گزینه ب صحیح است.



پرسش ۳-۸) مشترک برای تخلیه هوای هود کباب پز گازی سه طرفه با ابعاد 80×200 سانتی متر از یک فن (مکنده هوا) از نوع یوتیلیتی استفاده می شود. اگر افت فشار کلی برابر $1/5$ اینچ ستون آب و راندمان فن 68% درصد باشد، قدرت موتور فن حداقل باید چند اسب بخار باشد؟ (مرداد ۹۴ «۴۷»)

(الف) 0.75 (ب) 0.7 (ج) 0.65 (د) 0.60

پاسخ) طبق جدول ۱۴-۵-۶-۲ "ب" ابتدای کتاب مبحث ۱۴، حداقل مقدار تخلیه هوای هود چهار طرفه روی سکوی یک ردیفه در واحد طول هود برای کباب پز گازی، 400 فوت مکعب در دقیقه بر متر می باشد. بنابراین با توجه به طول هود داریم:

$$\dot{V} = 400 \frac{\text{ft}^3}{\text{min.ft}} \times L = 400 \times 2 \times \frac{3.28 \text{ ft}}{1 \text{ m}} = 2624 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}}$$

قدرت موتور فن برابر است با:

$$\text{BHP} = \frac{\dot{V}(\text{cfm}) \times H(\text{inH}_2\text{O})}{6356 \times \eta_f} \times \lambda = \frac{2624 \times 1.5}{6356 \times 0.68} = 1.34 \text{ hp}$$

این سوال براساس ویرایش قبل مبحث ۱۴ طرح شده است.

۳-۳-۲ فشار استاتیکی، فشار دینامیکی و فشار کل در بادزن ها

فشار استاتیک P_s فشار یا نیرویی است که درون یا خارج از دستگاه هوارسان به جداره کانال و بدنه دستگاه وارد می شود. فشار استاتیک ممکن است بیشتر یا کمتر از فشار اتمسفر باشد و می تواند علامت مثبت یا منفی داشته باشد.

فشار کل P_T بادزن اندازه انرژی کل مکانیکی فن است که به هوا داده می شود. این فشار در واقع مقدار افزایش فشار کل در ورودی و خروجی فن را نشان می دهد و برابر است با:

$$P_T = P_{T(\text{out})} - P_{T(\text{in})} \quad (1-3)$$

فشار استاتیک بادزن برابر با فشار کل منهای فشار سینتیک است. **فشار دینامیکی P_v** بادزن در واقع فشار دینامیکی در خروجی بادزن است (فشار دینامیکی خروجی). فشار دینامیکی خروجی $P_{V(\text{out})}$ فشاری است که بستگی به سرعت هوا در خروجی بادزن دارد. فشار استاتیک بادزن از روابط زیر بدست می آید:

$$\begin{cases} P_S = P_T - P_V \\ P_V = P_{V(\text{out})} \end{cases} \quad \begin{matrix} P_T = P_{T(\text{out})} - P_{T(\text{in})} \\ \Rightarrow \end{matrix} \quad \begin{cases} P_S = P_{T(\text{out})} - P_{T(\text{in})} - P_{V(\text{out})} \\ \Rightarrow \end{cases} \quad \begin{matrix} P_{T(\text{out})} = P_{S(\text{out})} + P_{V(\text{out})} \\ \Rightarrow \end{matrix} \quad P_S = P_{S(\text{out})} - P_{T(\text{in})} \quad (2-3)$$

بنابراین برای محاسبه ی فشار استاتیک بادزن کافی است فشار کل ورودی و فشار استاتیک خروجی را اندازه گرفته و با هم جمع جبری کنیم.

فشار استاتیک کل و فشار استاتیک خارجی بادزن:

فشار استاتیک کل بادزن P_{ST} از جمع جبری فشار استاتیک اندازه گیری شده در دهانه ورودی بادزن و دهانه خروجی بادزن به دست می آید.

$$P_{ST} = P_{S(\text{out})} - P_{S(\text{in})} \quad (3-3)$$

فشار استاتیک خارجی P_{SE} فشار استاتیک کل است که در کانال خارج از دستگاه هوارسان، در کانال خروجی درست در نقطه خروج از دستگاه و در کانال ورودی درست در نقطه خروج از دستگاه اندازه گیری شده است:

$$P_{SE} = P_{S(\text{out})} - P_{S(\text{in})} \quad (4-3)$$

پرسش ۳-۹) مشترک اگر P_s و P_t به ترتیب نشان دهنده فشار استاتیکی و فشار کل باشد و اندیس های ۱ و ۲ به ترتیب دهانه مکش و تخلیه فن را نشان دهد، کدام گزینه در مورد اختلاف فشار استاتیکی (ΔP_s) و اختلاف فشار کل (ΔP_t) فن صحیح است؟ (مهر ۹۹ (طراحی «۱۸»)

$$\Delta P_s = P_{s,2} - P_{s,1} \text{ و } \Delta P_t = P_{t,2} - P_{t,1} \quad (\text{ب})$$

$$\Delta P_s = P_{s,2} - P_{t,1} \text{ و } \Delta P_t = P_{t,2} - P_{t,1} \quad (\text{الف})$$

$$\Delta P_s = P_{s,2} - P_{s,1} \text{ و } \Delta P_t = P_{t,2} - P_{s,1} \quad (\text{د})$$

$$\Delta P_s = P_{s,2} - P_{t,1} \text{ و } \Delta P_t = P_{t,2} - P_{s,1} \quad (\text{ج})$$



پاسخ) طبق مطالب بالا، گزینه الف صحیح است.

۳-۳-۳ محاسبه‌ی راندمان فن

طبق نشریه ۱۷۲: راندمان یا بازده فن، نسبت انرژی گرفته شده (output) به توان داده شده (input) می‌باشد. اگر توان حقیقی معلوم باشد، راندمان بادزن را می‌توان از روابط زیر معین کرد. برای محاسبه توان حقیقی بادزن وقتی راندمان نامعلوم باشد، می‌توان عدد ۰/۷ را به جای راندمان استاتیک بادزن قرار داد.

راندمان استاتیک بادزن:

$$\eta_{s_f} = \frac{\dot{V}(\text{cfm}) \times H_s (\text{inH}_2\text{O})}{6356 \times \text{BHP}} \quad (۵-۳)$$

در رابطه‌ی بالا، H_s فشار استاتیک فن می‌باشد.

راندمان کل بادزن:

$$\eta_{T_f} = \frac{\dot{V}(\text{cfm}) \times H_T (\text{inH}_2\text{O})}{6356 \times \text{BHP}} \quad (۶-۳)$$

در رابطه‌ی بالا، H_T فشار کل می‌باشد.

پرسش ۱۰-۳ طراحی دبی فن سانتریفیوژ ۱۲۰۰۰ فوت مکعب بر ساعت، فشار کل آن ۳ اینچ آب و راندمان استاتیک آن ۷۰٪ است.

توان ترمزی فن چند اسب بخار است؟ (مهر ۱۴۰۲ (طراحی) «۱۶»

الف) ۴/۵ (ب) ۸/۱

ج) ۷/۳ (د) اطلاعات برای حل مسئله کافی نیست.

پاسخ) طبق روابط بالا، برای محاسبه توان حقیقی بادزن با استفاده از راندمان استاتیک، باید مقدار فشار استاتیک فن معلوم باشد، بنابراین داده‌های مسئله کافی نیستند. گزینه د صحیح است.

پرسش ۱۱-۳ طراحی فشار استاتیکی قبل و بعد از یک فن به ترتیب ۱- و ۳/۲+ اینچ آب است. اگر دبی هوای فن ۶۴۰۰ فوت مکعب

بر دقیقه و توان ترمزی آن ۷ اسب بخار باشد، راندمان استاتیکی فن حدود چند درصد است؟ (آبان ۱۴۰۳ (طراحی) «۱۹»

الف) ۷۰ (ب) ۶۰ (ج) ۵۰ (د) هیچ کدام

پاسخ) راندمان استاتیکی فن به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\eta_{s_f} = \frac{\dot{V}(\text{cfm}) \times H_s (\text{inH}_2\text{O})}{6356 \times \text{BHP}} = \frac{6400 \times (3.2 - (-1))}{6356 \times 7} = 0.60 = 60\%$$

گزینه ب صحیح است.

پرسش ۱۲-۳ طراحی اگر P_s فشار استاتیکی، P_1 فشار کل، η_m بازده مکانیکی، η_s بازده استاتیکی، Q دبی، ΔP اختلاف فشار و W توان

الکتریکی باشد، کدام رابطه زیر برای فن صحیح است؟ (شهریور ۹۵ «۵۶»

$$\eta_s = \frac{Q \times \Delta P}{W} \quad \text{الف)} \quad \eta_s = \frac{P_s}{P_t} \times \eta_m \quad \text{ب)} \quad \eta_s = \frac{P_s}{P_t \times \eta_m} \quad \text{ج)} \quad \eta_s = \frac{P_s}{P_t} \quad \text{د)}$$

پاسخ) طبق نشریه ۱۷۲ راندمان کل و راندمان استاتیک فن به صورت زیر تعریف می‌شود، بنابراین داریم:

$$\left\{ \begin{array}{l} \eta_{s_f} = \frac{\dot{V}(\text{cfm}) \times H_s (\text{inH}_2\text{O})}{6356 \times \text{BHP}} \\ \eta_{T_f} = \frac{\dot{V}(\text{cfm}) \times H_T (\text{inH}_2\text{O})}{6356 \times \text{BHP}} \end{array} \right. \Rightarrow \frac{\eta_{s_f}}{\eta_{T_f}} = \frac{H_s}{H_T} \quad \text{or} \quad \frac{\eta_{s_f}}{\eta_{T_f}} = \frac{P_s}{P_T} \Rightarrow \eta_{s_f} = \frac{P_s}{P_T} \eta_{T_f}$$

گزینه ب صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش «۲۷» آزمون «مرداد» سال ۹۴ می‌باشد.



نکته ۳-۱) در فن ها، بازده کل در نقطه طراحی کارکردی باید در فاصله حداکثر ۱۵ درصدی از نقطه حداکثر کارایی کل فن باشد. (آیین نامه ۱۹-۴-۲-۲)

پرسش ۳-۱۳) طراحی در انتخاب فن های گریز از مرکز بازده کل فن در نقطه طراحی باید حداکثر چند درصد از حداکثر بازده کل فن کمتر باشد؟ (دی ۱۴۰۱ طراحی) «۱۲»

الف) ۱ ب) ۵ ج) ۱۵ د) ۲۰

پاسخ) طبق بند «ب» آیین نامه ۱۹-۴-۲-۲-۲ صفحه ۱۰۳ مبحث ۱۹، گزینه ج صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش «۴۷» آزمون «طراحی مرداد» سال ۱۴۰۳ می باشد.

۳-۴ قوانین تشابه فن ها

قوانین حاکم بر نحوه عملکرد بادزن ها در شرایط مختلف در جدول زیر بیان شده است.

جدول (۳-۲): قوانین تشابه بادزن ها

رابطه	پارامترهای ثابت	پارامتر متغیر
$\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \frac{N_1}{N_2}$	چگالی هوا (ρ) سایز بادزن (D)	دور (N)
$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$		
$\frac{Bhp_1}{Bhp_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3$		
$\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \frac{Bhp_1}{Bhp_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2$	چگالی هوا (ρ) سرعت خطی نوک پره (v_t)	سایز بادزن (D)
$P_1 = P_2$		
$\frac{N_1}{N_2} = \frac{D_2}{D_1}$		
$\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^3$	چگالی هوا (ρ) دور (N)	سایز بادزن (D)
$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2$		
$\frac{Bhp_1}{Bhp_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^5$		
$\frac{\dot{V}_1}{\dot{V}_2} = \frac{Bhp_1}{Bhp_2} = \sqrt{\frac{\rho_2}{\rho_1}}$	فشار (P) سایز بادزن (D)	چگالی هوا (ρ)
$\frac{P_1}{P_2} = \frac{Bhp_1}{Bhp_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2}$	هوادهی ($\dot{V}$) سایز بادزن (D)	
$N_1 = N_2$		

در روابط فوق، $\dot{V}$ میزان هوادهی (دبی حجمی)، N دور بادزن، P فشار استاتیک، Bhp توان ترمزی و D قطر پروانه بادزن می باشد.

پرسش ۳-۱۴) مشترک قدرت ترمزی یک بادزن با چه نسبتی از تغییرات قطر آن تغییر می کند؟ (فروردین ۸۱ «۲۰»)

الف) $\frac{bhp_2}{bhp_1} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2$ ب) $\frac{bhp_2}{bhp_1} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^3$ ج) $\frac{bhp_2}{bhp_1} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^4$ د) $\frac{bhp_2}{bhp_1} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^5$

پاسخ) در صورت ثابت ماندن سرعت دورانی بادزن، طبق قوانین تشابه فن ها، گزینه د صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش «۲۸» آزمون «مرداد» سال ۹۴ و مشابه پرسش «۳۳» آزمون «فرداد» سال ۹۳ می باشد.



پرسش ۳-۱۵) مشترک کدام شیوه متناسب‌تر است؟ (اسفند ۸۹ «۱۳»)

الف) کنترل زاویه تیغه‌های فن
ب) کنترل فشار با دمپره‌های تنظیم در خروج هوا

ج) کنترل فشار با دمپره‌های تنظیم در ورود هوا
د) کنترل سرعت

پاسخ) از آنجایی که طبق قوانین تشابه، ظرفیت (هوادهی) فن با دور آن نسبت مستقیم دارد، کنترل سرعت روش بهتری است، گزینه د صحیح است.

پرسش ۳-۱۶) مشترک کدام یک از عبارات زیر صحیح است؟ (آبان ۹۳ «۶۰»)

الف) هوادهی فن در گردش خلاف موتور تغییر نمی‌کند بلکه عملکرد تغذیه یا تخلیه هوا برعکس می‌شود.

ب) هوادهی دمنده هوا در گردش خلاف موتور افزایش می‌یابد.

ج) هوادهی دمنده‌های هوا در گردش خلاف موتور کاهش می‌یابد.

د) در گردش خلاف موتور، کنترل کننده دور اجازه عملکرد به فن نمی‌دهد.

پاسخ) با عوض شدن جهت حرکت موتور فن، دهانه‌ی مکش و دهش نیز جابه‌جا شده (D) و با تغییر دهانه‌ی خروجی (دهانه دهش) و سطح مقطع آن، میزان هوادهی نیز تغییر کرده و چون سطح مقطع دهانه دهش از مکش بزرگتر است با جابه‌جا شده این دو، سطح مقطع دهانه دهش کوچک‌تر شده و هوادهی کاهش می‌یابد. گزینه ج صحیح است.

پرسش ۳-۱۷) مشترک چنانچه در یک دمنده هوا سرعت دوران به ۱/۵ برابر افزایش یابد کدام گزینه در مورد شرایط جدید

صحیح است؟ (شهریور ۸۶ «۱۱»)

الف) ظرفیت هوادهی ۱/۵ برابر، فشار استاتیک ۲/۲۵ برابر و قدرت ترمزی مورد نیاز ۳/۴ برابر می‌شود.

ب) ظرفیت هوادهی ۱/۵ برابر، فشار استاتیک ۳/۴ برابر و قدرت ترمزی مورد نیاز ۲/۲۵ برابر می‌شود.

ج) ظرفیت هوادهی ۱/۵ برابر، فشار استاتیک ۳ برابر و قدرت ترمزی مورد نیاز ۳ برابر می‌شود.

د) ظرفیت هوادهی ۳ برابر، فشار استاتیک ۳ برابر و قدرت ترمزی مورد نیاز ۳ برابر می‌شود.

پاسخ) طبق قوانین تشابه فن‌ها، داریم:

$$\begin{aligned} \frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1} &= \frac{N_2}{N_1} \\ \frac{P_2}{P_1} &= \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 \\ \frac{BHP_2}{BHP_1} &= \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^3 \end{aligned} \quad \begin{aligned} N_2 &= 1.5 N_1 \\ \Rightarrow \end{aligned} \quad \begin{aligned} \frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1} &= \frac{1.5 N_1}{N_1} = 1.5 \\ \frac{P_2}{P_1} &= \left(\frac{1.5 N_1}{N_1}\right)^2 = 2.25 \\ \frac{BHP_2}{BHP_1} &= \left(\frac{1.5 N_1}{N_1}\right)^3 = 3.375 \end{aligned}$$

گزینه الف صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش «۳۷» آزمون «آذر» سال ۷۹ می‌باشد.

پرسش ۳-۱۸) مشترک یک بادبزن (فن) سانتریفیوژ با دور ۳۰۰ RPM، دارای توان ترمزی ۸ BHP است. اگر دور فن ۴۰۰ RPM

برسد، توان ترمزی چقدر می‌شود؟ (مهر ۹۶ (طراحی) «۳۴»)

الف) ۲۲/۲۰ BHP
ب) ۱۸/۹۶ BHP
ج) ۱۴/۲۲ BHP
د) ۱۰/۶۷ BHP

پاسخ) طبق قوانین تشابه فن‌ها، داریم:

$$\frac{BHP_2}{BHP_1} = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^3 \Rightarrow BHP_2 = \left(\frac{400}{300}\right)^3 \times 8 = 18.96$$

گزینه ب صحیح است.

این پرسش، مشابه پرسش «۳۸» آزمون «بهمن» سال ۸۳ و مشابه پرسش «۶۰» آزمون «شهریور» سال ۸۶ و مشابه پرسش

«۲۵» آزمون «فرورداد» سال ۸۲ و مشابه پرسش «۳۶» آزمون «آذر» سال ۷۷ می‌باشد.