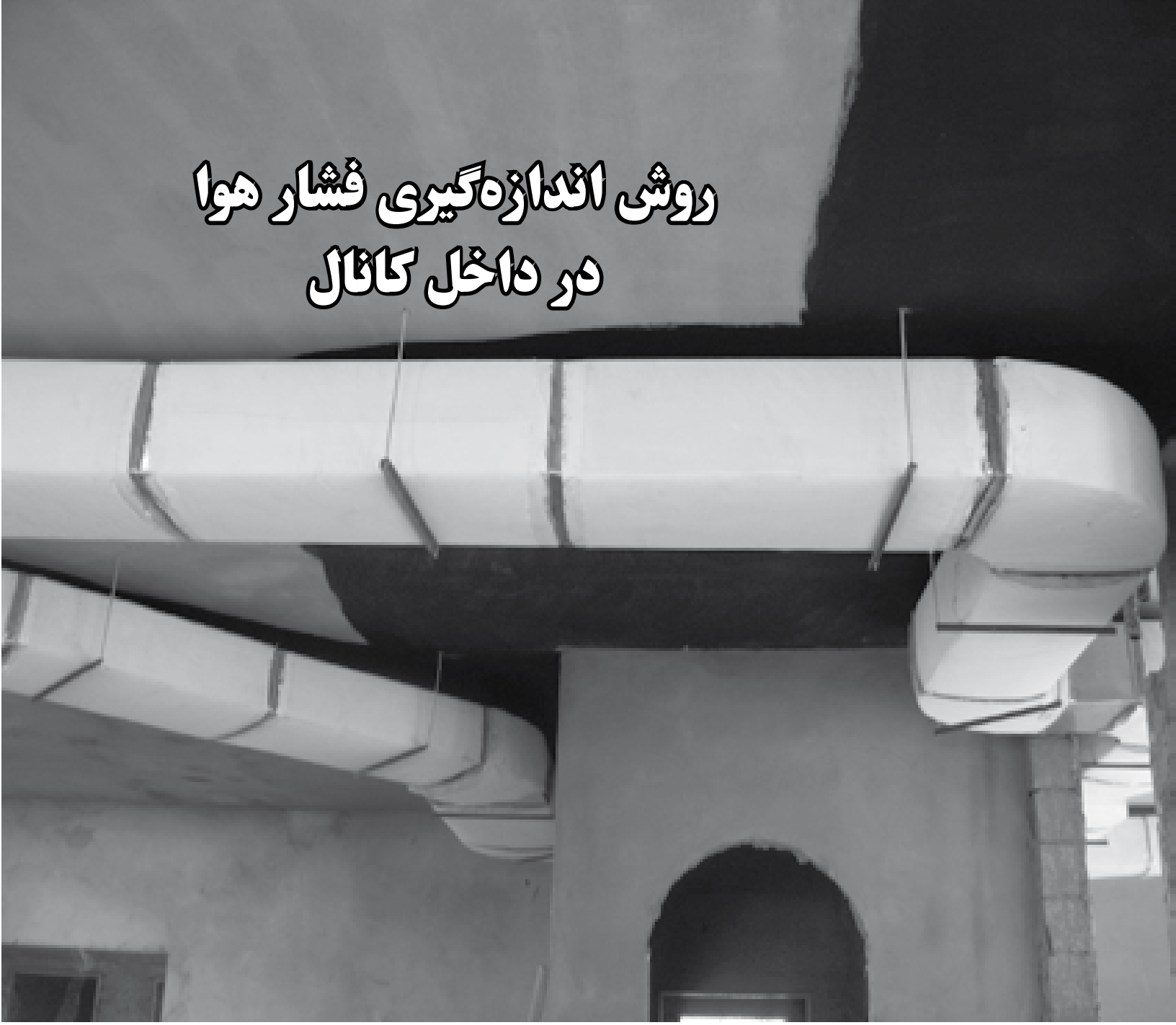
روش اندازه‌گیری فشار هوا در داخل کانال



هنگامی که هوا با سرعتی مشخص به جریان درمی‌آید، فشاری ایجاد می‌شود که مقدار آن با سرعت حرکت هوا در ارتباط است. این فشار در واقع معیاری از انرژی جنبشی هوای عبوری به شمار می‌رود و به آن فشار سرعتی (V_p) گفته می‌شود. فشار سرعتی همواره در جهت حرکت هوا اعمال می‌شود. درصورتی‌که مقدار شتاب گرانش (g) را برابر با $32.174 ft/sec^2$ و چگالی هوا در حالت استاندارد را برابر با $0.075 lb/ft^3$ درنظر بگیریم، رابطه بین سرعت جریان هوا و فشار سرعتی ایجاد شده به واسطه آن را می‌توان با استفاده از رابطه زیر مشخص کرد:

$$Vp = \left(\frac{V}{4005}\right)^2 \qquad (1)$$

$$V = 4005\sqrt{Vp}$$

با استفاده از رابطه فوق با اندازه‌گیری فشار سرعتی به راحتی می‌توان سرعت جریان هوای عبوری را برحسب فوت بر دقیقه (fpm) اندازه‌گیری کرد. برای مثال درصورتی‌که مقدار فشار سرعتی اندازه‌گیری شده با استفاده از لوله پیتو برابر با 0.250" wg باشد، سرعت هوا برابر است با:

$$4005\sqrt{0.250} = 2002 \text{ fpm}$$

در جدول (1) مقادیر مختلفی که با استفاده از رابطه محاسباتی به دست آمده است به صورت ضرایب تبدیل فشار سرعتی به سرعت معادل با آن ارائه شده است. این جدول یکی از بهترین ابزارهایی است که در کاربردهای عملی می‌توان از آن برای تبدیل فشار سرعتی به سرعت معادل استفاده کرد و محدوده 300 fpm تا 5250 fpm را پوشش می‌دهد.

علاوه بر فشار سرعتی که به دلیل سرعت عبور هوا به وجود می‌آید، هنگامی که هوا در داخل یک مسیر بسته مانند مخزن یا کانال قرار می‌گیرد بر جداره آن، عمود بر جداره فشار وارد می‌کند. فشاری که در این وضعیت از طرف سیال به جداره محفظه وارد می‌شود به صورت یک نیروی فشاری است که به آن فشار استاتیک (S_p) گفته می‌شود. برخلاف فشار سرعتی که همواره مقدار مثبتی است، فشار استاتیک می‌تواند مثبت یا منفی باشد. اگر مقدار فشار استاتیک از فشار جو بالاتر باشد مقدار آن مثبت و اگر از فشار جو پایین‌تر باشد مقدار آن منفی خواهد بود. برای مثال هنگامی که یک فن در حال کار است، فشار استاتیک در قسمت ورودی فن منفی و فشار استاتیک در خروجی فن مثبت است.

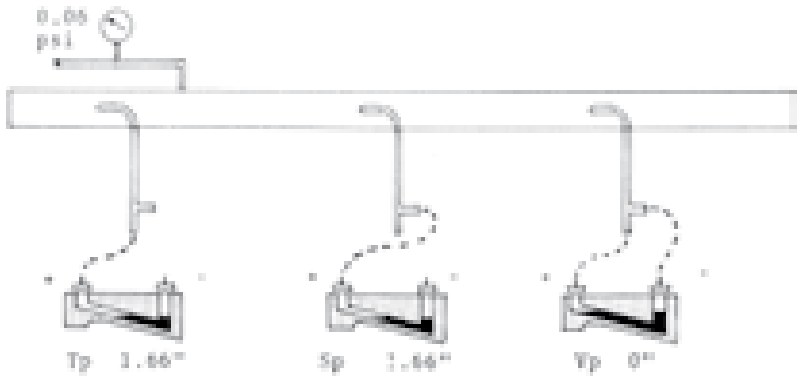
ماهیت فشار استاتیک به گونه‌ای است که هم برای هوای ساکن و هم برای هوای متحرک وجود دارد. جمع جبری فشار استاتیک و فشار سرعتی برابر با مجموع فشاری است که از هوا ایجاد می‌کند و به آن فشار کل (T_p) گفته می‌شود:

$$Vp = Tp - Sp \qquad (2)$$

برای توضیح بهتر فشار استاتیک و فشار سرعتی در شرایط واقعی از یک مثال استفاده می‌کنیم. یک سیستم تهویه مطبوع را در نظر بگیرید که دو انتهای قسمتی از کانال آن با درپوش بسته و به خوبی هوابند شده است. فرض کنید که محفظه‌ی مکعب مستطیلی به وجود آمده در برگیرنده جرمی از هوا باشد که فشار

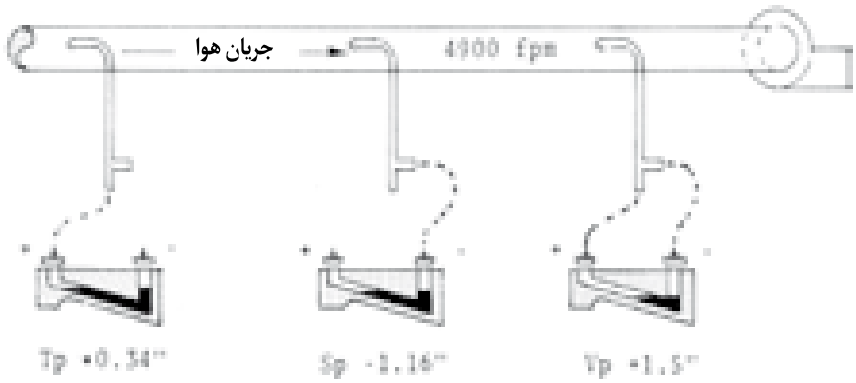
جدول (1): ضرایب تبدیل فشار سرعتی (VP) به سرعت هوا (fpm)

سرعت جریان هوا (fpm)	فشار سرعتی (In of H_2O)	سرعت جریان هوا (fpm)	فشار سرعتی (In of H_2O)	سرعت جریان هوا (fpm)	فشار سرعتی (In of H_2O)
300	0.005	1300	0.100	3300	0.681
310	0.006	1350	0.105	3350	0.695
320	0.006	1400	0.122	3400	0.722
330	0.006	1450	0.131	3450	0.740
340	0.007	1500	0.140	3500	0.766
350	0.007	1550	0.149	3550	0.785
360	0.008	1600	0.160	3600	0.810
370	0.008	1650	0.169	3650	0.825
380	0.009	1700	0.181	3700	0.860
390	0.009	1750	0.190	3750	0.875
400	0.010	1800	0.208	3800	0.90
425	0.011	1850	0.213	3850	0.92
450	0.012	1900	0.225	3900	0.95
475	0.014	1950	0.237	3950	0.97
500	0.016	2000	0.250	4000	1.00
525	0.017	2050	0.262	4050	1.02
550	0.019	2100	0.276	4100	1.04
575	0.021	2150	0.290	4150	1.06
600	0.022	2200	0.302	4200	1.08
625	0.024	2250	0.319	4250	1.12
650	0.026	2300	0.331	4300	1.14
675	0.028	2350	0.348	4350	1.17
700	0.030	2400	0.360	4400	1.20
725	0.033	2450	0.375	4450	1.23
750	0.035	2500	0.391	4500	1.25
775	0.038	2550	0.408	4550	1.28
800	0.040	2600	0.422	4600	1.31
825	0.042	2650	0.439	4650	1.34
850	0.045	2700	0.456	4700	1.37
875	0.048	2750	0.467	4750	1.40
900	0.050	2800	0.490	4800	1.43
925	0.053	2850	0.509	4850	1.46
950	0.057	2900	0.530	4900	1.50
975	0.059	2950	0.543	4950	1.53
1000	0.062	3000	0.562	5000	1.56
1050	0.066	3050	0.576	5050	1.59
1100	0.075	3100	0.600	5100	1.62
1150	0.082	3150	0.615	5150	1.65
1200	0.090	3200	0.640	5200	1.68
1250	0.097	3250	0.665	5250	1.72



تصویر (1): چگونگی اندازه‌گیری فشار هوا در حالت سکون

تصویر (2): چگونگی اندازه‌گیری فشار مثبت



تصویر (3): چگونگی اندازه‌گیری فشار منفی

ناشی از آن برابر با 0.06 psi است. با اندازه‌گیری فشار هوای داخل کانال با استفاده از لوله پیتو و مانومتر مایل، فشار استاتیک هوای داخل کانال 1.66" wg اندازه‌گیری می‌شود (برای تبدیل فشار از اینچ جیوه به اینچ آب می‌توانید از جدول پیوست ب استفاده کنید). از آنجایی که هوا در داخل این محفظه ساکن بوده و جریان ندارد، مقدار فشار سرعتی اندازه‌گیری شده توسط مانومتر برابر با 0"wg خواهد بود. بدین‌ترتیب همان‌طور که در تصویر (1) نیز نشان داده شده است، فشار کل هوا نیز برابر با 1.66" wg خواهد بود.

اکنون فرض کنید که به یکی از دو انتهای این کانال به یک فن متصل شود و با به کار انداختن آن هوا با سرعت 4900 fpm در داخل کانال به جریان درآید. همان‌طور که در تصویر (2) نیز نشان داده شده است، سرعت هوای 4900 fpm موجب ایجاد فشار سرعتی 1.5"wg می‌شود که با کم کردن مقدار آن از فشار کلی که در مرحله قبل اندازه‌گیری شده بود فشار استاتیک برابر با 0.16" wg به دست می‌آید. به عبارت دیگر:

$$1.66\ Tp - 1.5\ Vp = 0.16\ in.\ Sp$$

ساختار مانومتر به گونه‌ای است که قابلیت اندازه‌گیری مستقیم مقدار واقعی فشار سرعتی را ندارد. ولی با استفاده از لوله پیتو می‌توان فشار سرعتی را با استفاده از مانومتر اندازه‌گیری کرد. بدین صورت که دهانه فشار استاتیک لوله پیتو را باید به سمت فشار پایین و دهانه فشار کل آن را به سمت فشار بالای مانومتر متصل کرد. بدین‌ترتیب فشاری که با استفاده از مانومتر اندازه‌گیری خواهد شد برابر با اختلاف فشار کل و فشار استاتیک خواهد بود که همان فشار سرعتی است.

به‌طورکلی با تغییر ساختار کانال، مقادیر فشار استاتیک و فشار سرعتی دچار تغییر می‌شود ولی فشار کل آن همواره ثابت باقی می‌ماند. بنابراین با کاهش فشار سرعتی، فشار استاتیک افزایش خواهد یافت و برعکس، بدین‌ترتیب مقدار فشار کل بدون تغییر خواهد ماند، چراکه مقدار فشار استاتیک همواره برابر با اختلاف فشار کل و فشار سرعتی است. لازم به یادآوری است که در شرایط واقعی به دلیل اصطکاک ایجاد شده بین جریان هوا و جداره داخلی کانال، فشار کل اندازه‌گیری شده از مقدار تئوری کمتر خواهد بود.

در سیستم‌های تخلیه مقدار فشار استاتیک همواره از فشار جو پایین‌تر است، بنابراین در کاربردهای عملی اغلب علامت منفی فشار استاتیک نوشته نمی‌شود. در هر صورت باید توجه داشت که در این حالت نیز مقدار فشار استاتیک منفی بوده و مقدار آن برابر با اختلاف فشار کل و فشار سرعتی است. به طورکلی فشار کل به ندرت در محاسبات سیستم‌های تهویه مطبوع مورد استفاده قرار می‌گیرد و تقریبا تمامی محاسبات بر مبنای فشار استاتیک انجام می‌گیرد.

در تصویر (3) تمام فرضیات صورت گرفته دقیقا مشابه با آن چیزی است که در تصویر (2) مورد بررسی قرار گرفت، با این تفاوت که این بار فن در قسمت خروجی کانال قرار گرفته است. بدین‌ترتیب با قرارگیری فن در قسمت خروجی کانال فشار اندازه‌گیری شده توسط مانومتر از فشار جو پایین‌تر خواهد بود و مقدار فشار سرعتی، فشار استاتیک و فشار کل در این حالت به ترتیب برابر با 1.5" wg+، 1.16" wg- و 0.34" wg+ خواهد بود.