

« به نام خدا »



تدوین روش تست و تعیین کارایی مبدل‌های حرارتی هوا-هوا

دکتر سپهر صنایع
آزمایشگاه بهینه‌سازی سیستم‌های انرژی
دانشکده مهندسی مکانیک - دانشگاه علم و صنعت ایران

مرداد ماه ۱۳۸۴

فهرست مطالب

- معرفی اجزاء مبدل حرارتی هوا-هوا
- نحوه کار مبدل حرارتی هوا-هوا در فصل زمستان
- اهمیت بکارگیری مبدلهای حرارتی هوا-هوا در ساختمان
- استفاده از مبدل حرارتی هوا-هوا در ساختمان
- محاسبه روابط عملکردی مبدل حرارتی هوا-هوا
- ارائه نتایج
- بحث و نتیجه گیری

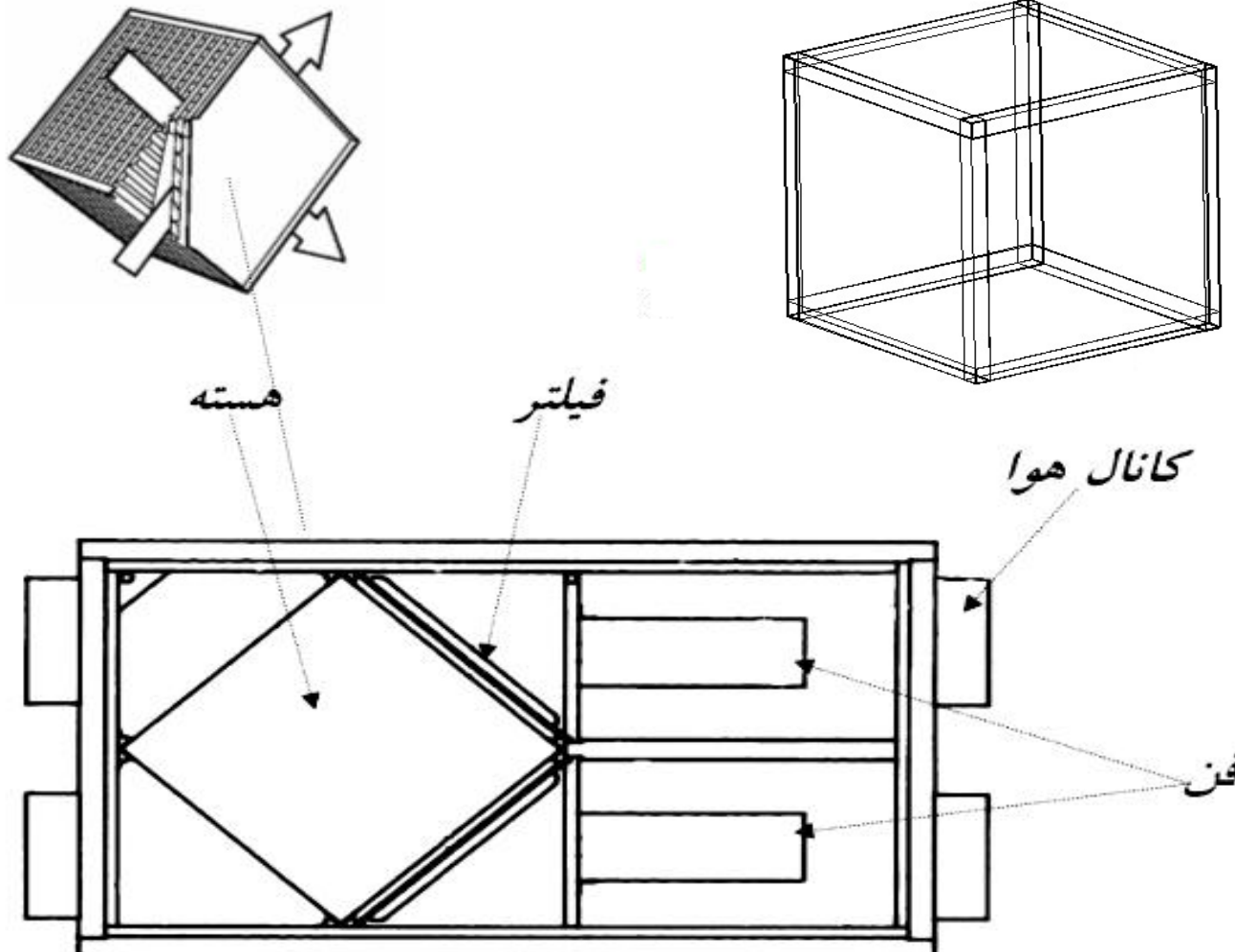
اجزاء مبدل حرارتی هوا-هوا :

۱- هسته

۲- فن یا دمنده

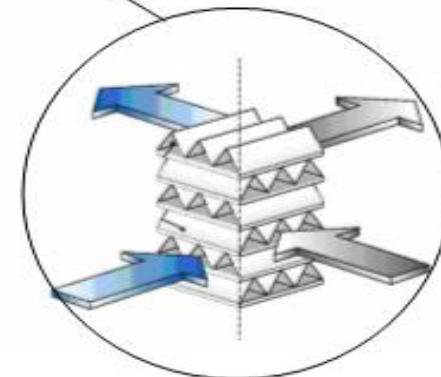
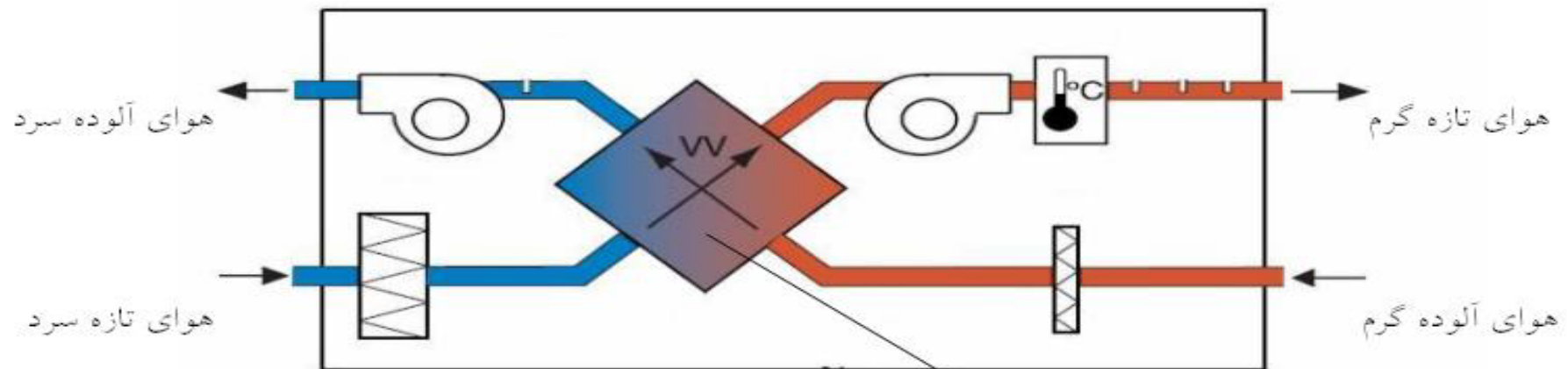
۳- فیلتر

۴- کانال هوا



نحوه کار مبدل حرارتی هوا-هوا

- بمنظور استفاده در فصل زمستان



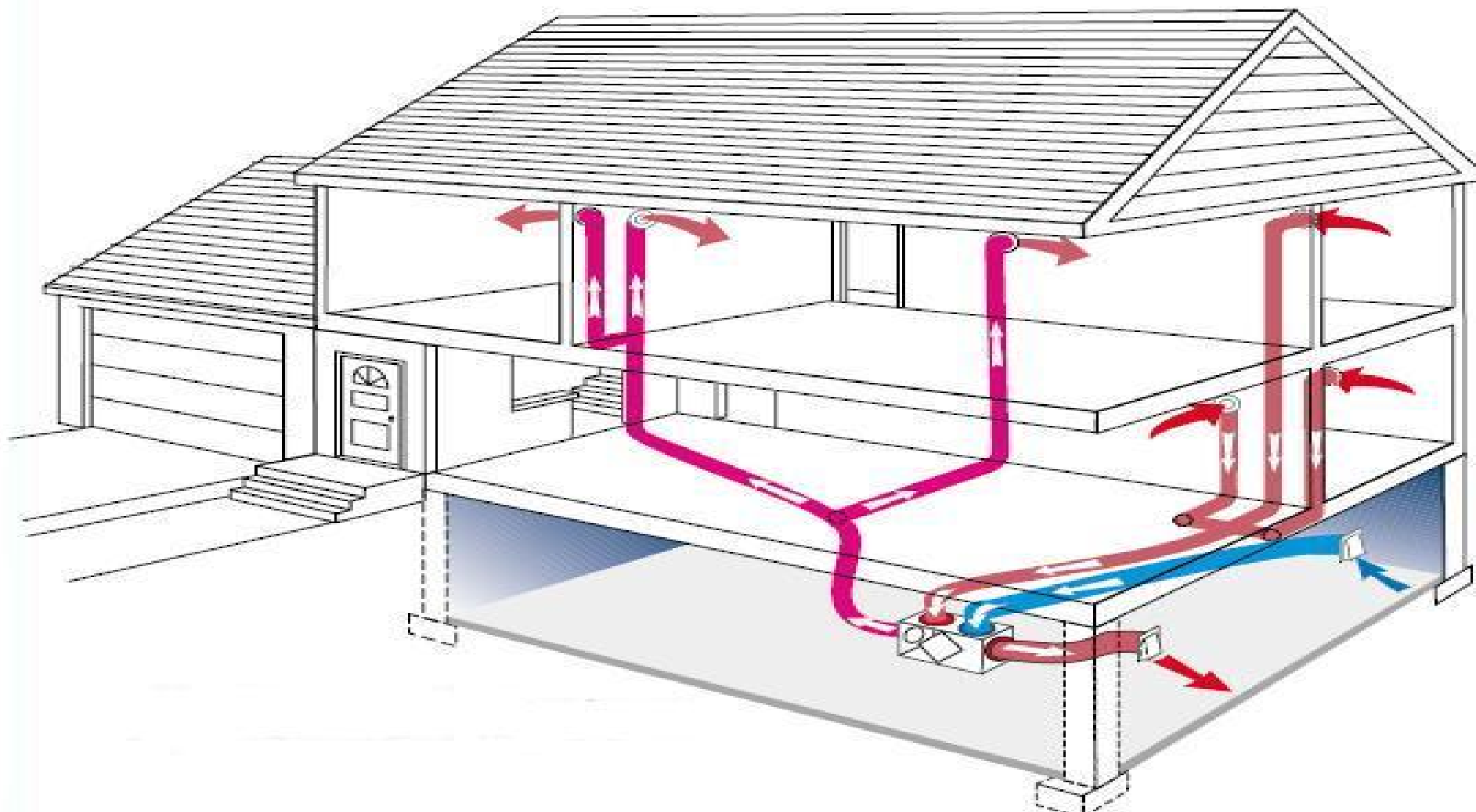
اهمیت بکارگیری مبدل‌های حرارتی هوا-هوا در ساختمانها

مهمترین عوامل ایجاد هوای آلوده عبارتند از:

- گرد و غبار، آشپزی، شستشوی ظرفها و سیگار کشیدن افراد داخل ساختمان، تنفس و تعرق
- استانداردهای جدید، تا حدود ۲۰٪ هوای در گردش را بعنوان هوای تازه برای تهویه داخل ساختمان، در نظر می گیرند.
- برای رساندن شرایط هوای تازه، به شرایط هوای آسایش انسان انرژی زیادی باید مصرف شود.
- تأمین بخشی از انرژی مورد نیاز فوق، با استفاده از مبدل هوا-هوا امکان پذیر است.
- در ایجاد گرمایش، مقدار صرفه جویی در مصرف سوخت و برق روزانه برای یک آپارتمان ۱۰۰ متر مربعی، در حالت کارکرد عادی، حدود ۶/۵ مترمکعب گاز، یا ۵ لیتر گازوئیل و یا ۳۵ kWh برق است.
- در ایجاد سرمایش، مقدار صرفه جویی در مصرف برق روزانه، حدود ۳۲ kWh است.

استفاده از مبدل‌های حرارتی هوا-هوا در ساختمانها

Fully Ducted System



روابط عملکردی مبدل‌های حرارتی هوا-هوا

۱- بازده گرمایی (Thermal Effectiveness)

۲- افت فشار (Pressure Drop)

۱- بازده گرمایی

(a) روش ϵ -NTU

در این روش بازده گرمایی تابع NTU و $\dot{C}_{min}/\dot{C}_{max}$ می باشد

$$\epsilon_s = 1 - \exp \left[\frac{\exp(-NTU^{0.78} \dot{C}_{min}/\dot{C}_{max}) - 1}{NTU^{-0.22} \dot{C}_{min}/\dot{C}_{max}} \right]$$

$$NTU = \frac{A_{tot} U}{(\dot{m} c_{pa})_{min}}$$

$$U = \left[\frac{1}{h_s} + \frac{3\delta}{\lambda} + \frac{1}{h_c} \right]^{-1}, \quad \lambda = 229 \left[\frac{W}{m.K} \right]$$

$$h = \frac{Nu \cdot k}{d_h} \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right], \quad d_h = \frac{4 A_{ch}}{P}$$

$$Nu = j Re Pr^{\frac{1}{3}}, \quad j = 0.04 Re^{-0.28}, \quad Re = \rho v d_h / \mu, \quad Pr = \frac{\mu C_p}{k}$$

۱- بازده گرمایی

(b) روش مبتنی بر اندازه گیری تجربی

$$\varepsilon_s = \frac{\dot{m}_s (T_{si} - T_{so})}{\dot{m}_{min} (T_{si} - T_{ei})}$$

T_{si} دمای هوای تازه ورودی به مبدل

T_{so} دمای هوای تازه خروجی از مبدل

T_{ei} دمای هوای آلوده ورودی به مبدل

\dot{m}_s نرخ جرمی هوای تازه kg/s

\dot{m}_{min} حداقل نرخ جرمی هوای تازه و هوای آلوده kg/s

۲- افت فشار

(a) رابطه نظری:

$$\frac{\Delta P}{P_1} = \frac{V_1^2 / 2g}{P_1 / P_2} \left[f \frac{A}{A_c} \frac{v_m}{v_1} + \left(K_c + (1 - \sigma^2) + \left(1 - \sigma^2 - K_e \left(\frac{v_2}{v_1} \right) \right) + 2 \left(\frac{v_2}{v_1} - 1 \right) \right) \right]$$

(b) اندازه گیری تجربی:

عبارت است از اختلاف فشار هوای تازه در قبل و بعد عبور از هسته مبدل

حرارتی هوا-هوا

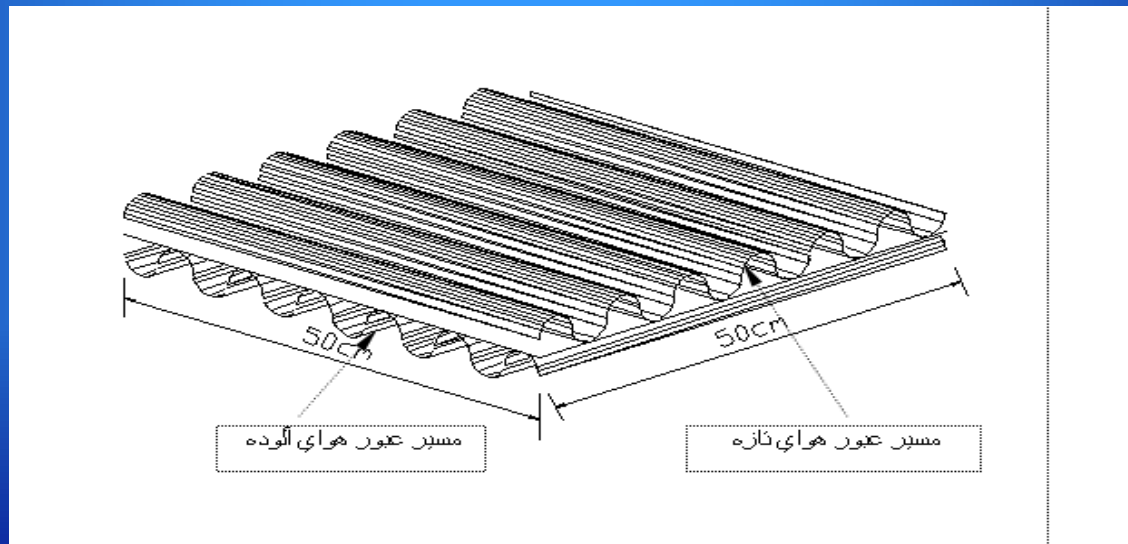
- برای انجام اندازه گیری های تجربی و مقایسه با نتایج تحلیلی، نمونه ای آزمایشگاهی از مبدل حرارتی هوا-هوا در آزمایشگاه بهینه سازی سیستم های انرژی دانشگاه علم و صنعت ایران ساخته شد.
- بدلیل آزمایشگاهی بودن مبدل، فنها در در خارج از مبدل حرارتی هوا-هوا نصب شده است.

- ابعاد هسته مبدل حرارتی: $50 \times 50 \times 50$ cm
- فویل آلومنیومی موج دار سینوسی: ضخامت 0.3 mm

ارتفاع: 5 mm

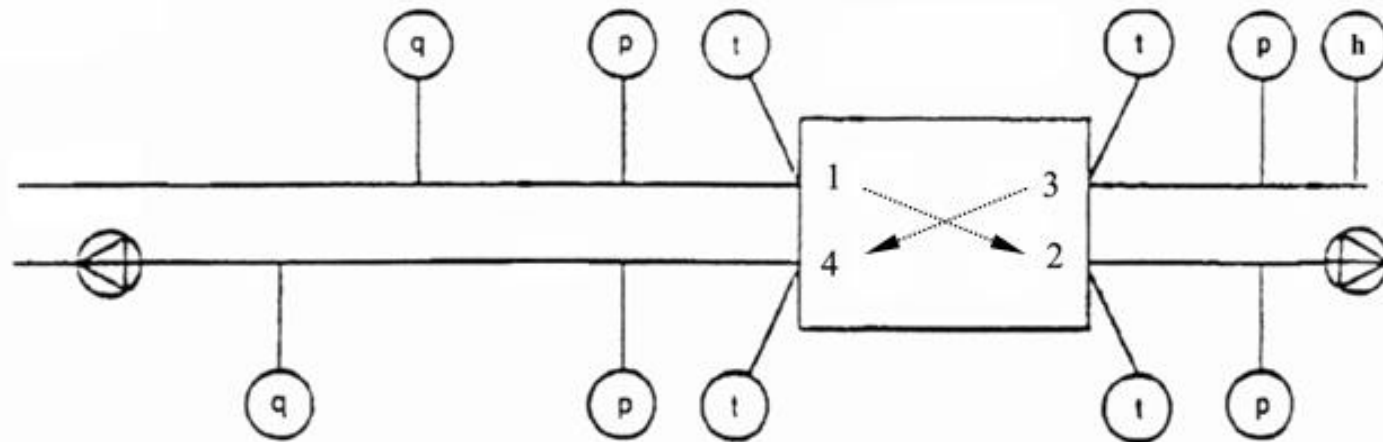
ابعاد: 50×50 cm

تعداد: 150



نمایی از مبدل ساخته شده برای تست عملکردی

• دمای نقطه ۱ در $T_1 = 9^\circ C$ و دمای نقطه ۳ در $T_3 = 39^\circ C$ ثابت نگه داشته می شود.



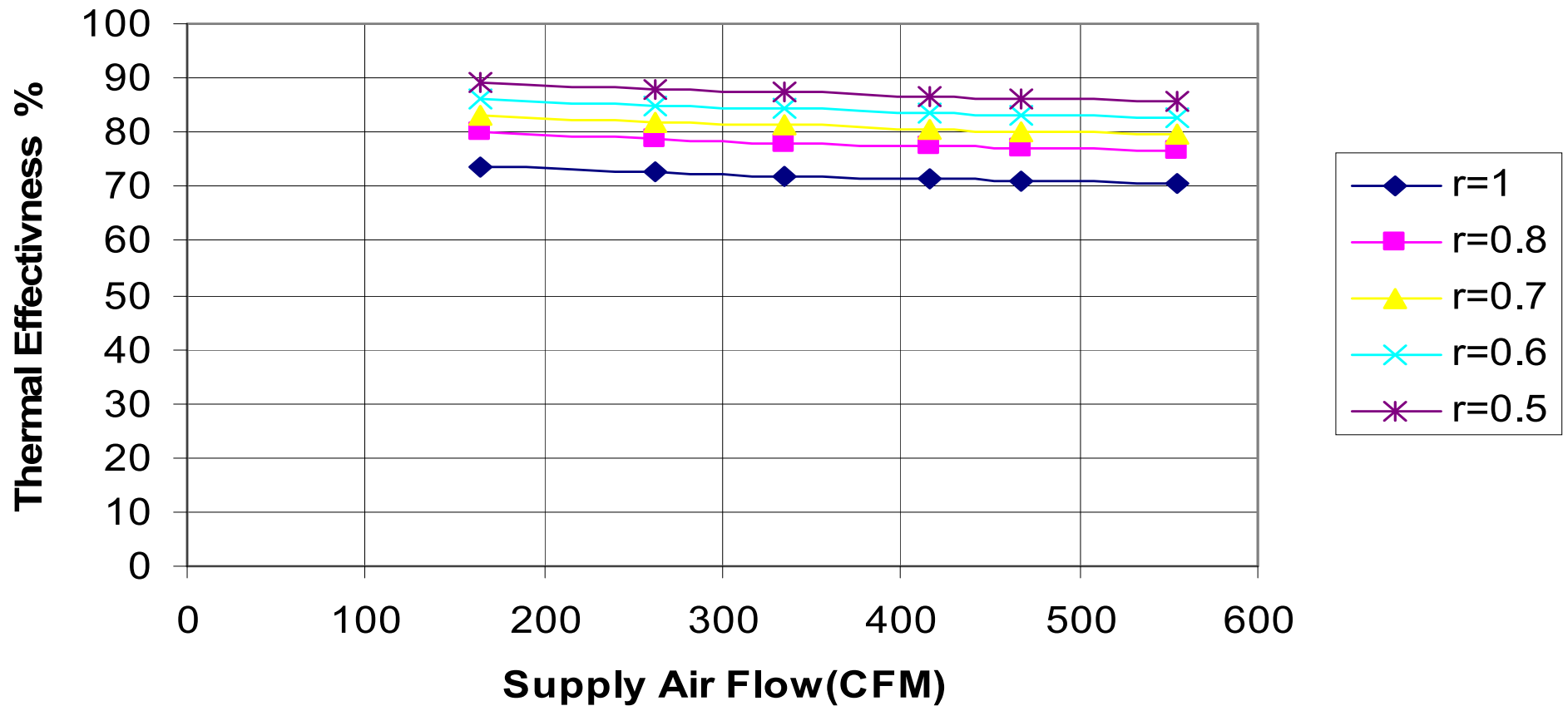
	فن	h هیتر	q دبی سنج	p فشارسنج	t دماسنج
1					هوای تازه ورودی به دستگاه بازیافت گرما
2					هوای تازه خروجی از دستگاه بازیافت گرما
3					هوای آلوده ورودی به دستگاه بازیافت گرما
4					هوای آلوده خروجی از دستگاه بازیافت گرما

دقت اندازه گیری دما $0.7^\circ C$ (Testo 925)
 دقت اندازه گیری فشار 0.1 mbar یا 10 Pa (Testo 512)
 دقت اندازه گیری سرعت 0.05 m/sec (Testo 425)
 رطوبت نسبی 3% (Testo 615)

نتایج حاصل از روابط تئوری

۱- بازده گرمایی

$$\varepsilon_s = 1 - \exp \left[\frac{\exp(-NTU^{0.78} \dot{C}_{min} / \dot{C}_{max}) - 1}{NTU^{-0.22} \dot{C}_{min} / \dot{C}_{max}} \right]$$

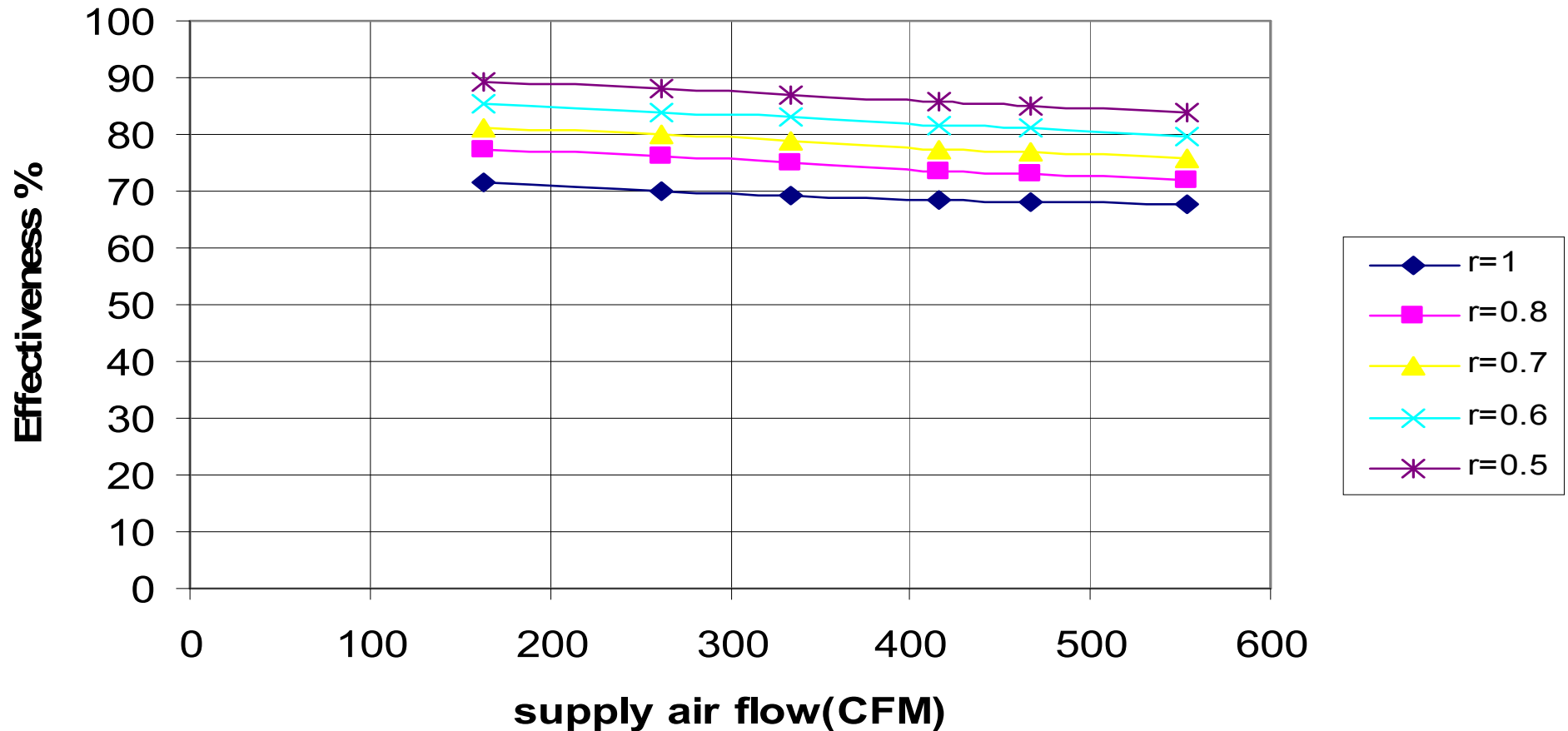


نتایج حاصل از اندازه گیریهای تجربی

۱- بازده گرمایی

$$r = \frac{\dot{m}_{\min}}{\dot{m}_{\max}} = \frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_1}$$

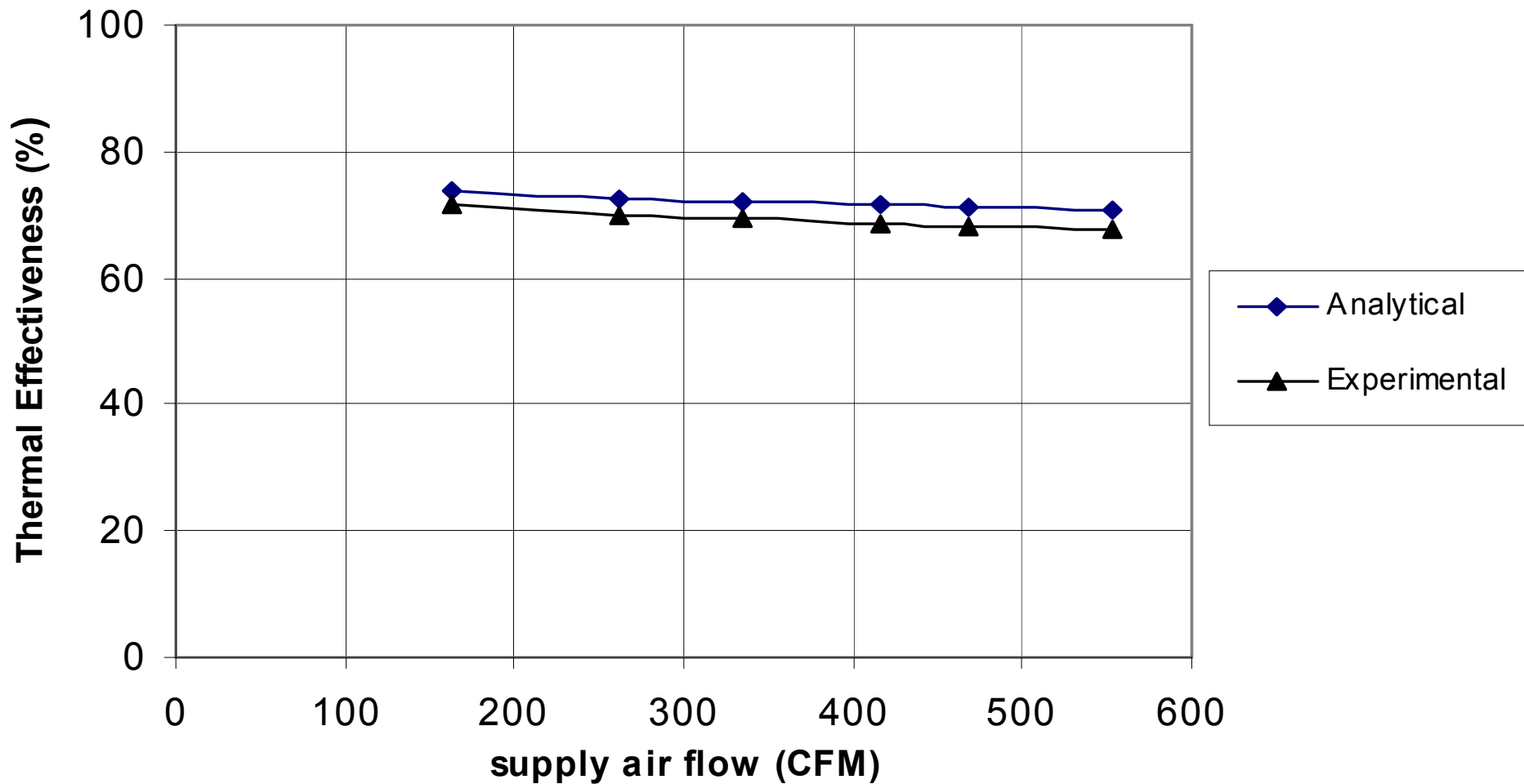
$$\varepsilon_s = \frac{\dot{m}_s (T_{si} - T_{so})}{\dot{m}_{\min} (T_{si} - T_{ei})} \quad \dot{m}_1 = \text{const}$$



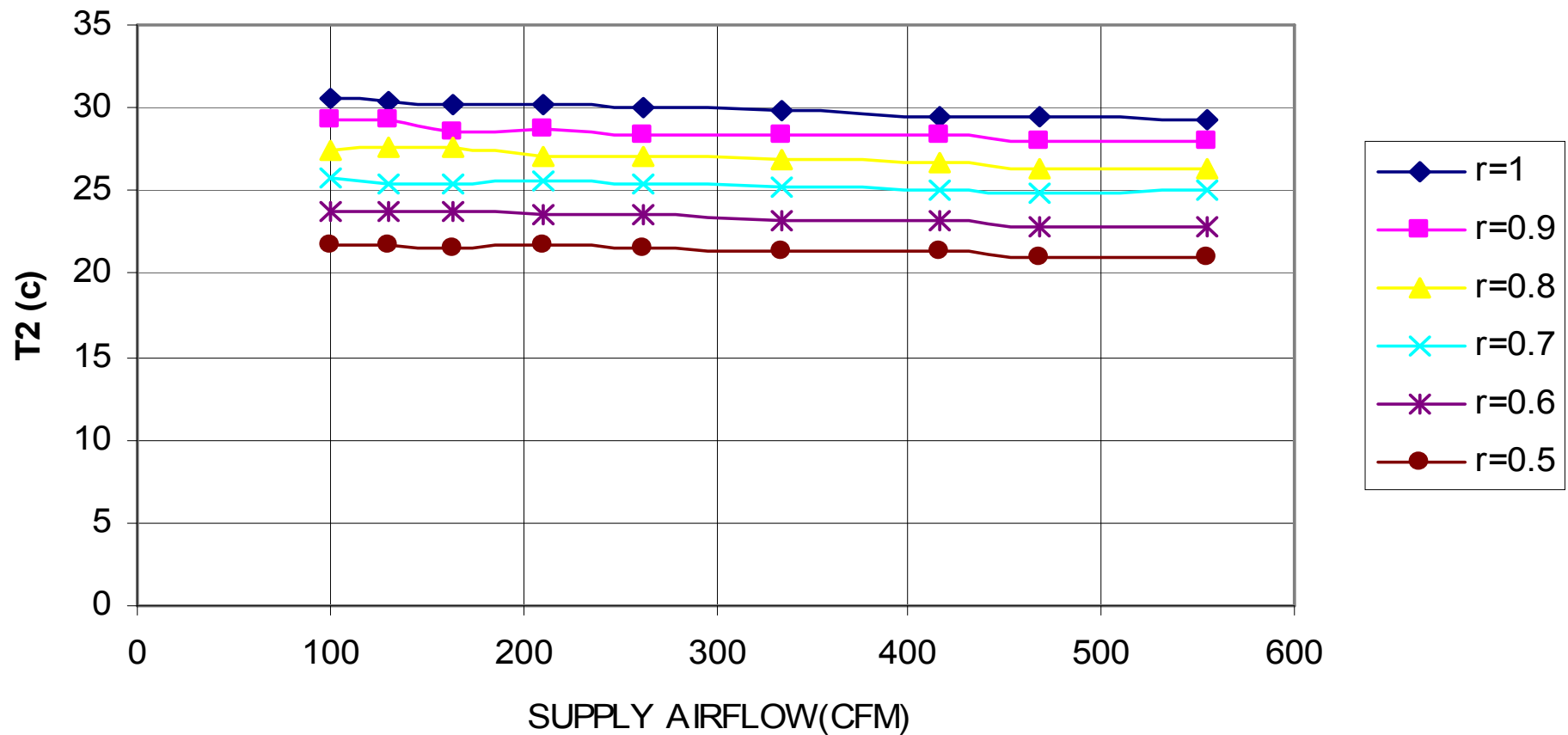
مقایسه نتایج حاصل از روابط تئوری و اندازه گیریهای تجربی

۱- بازده گرمایی

$r = 1$



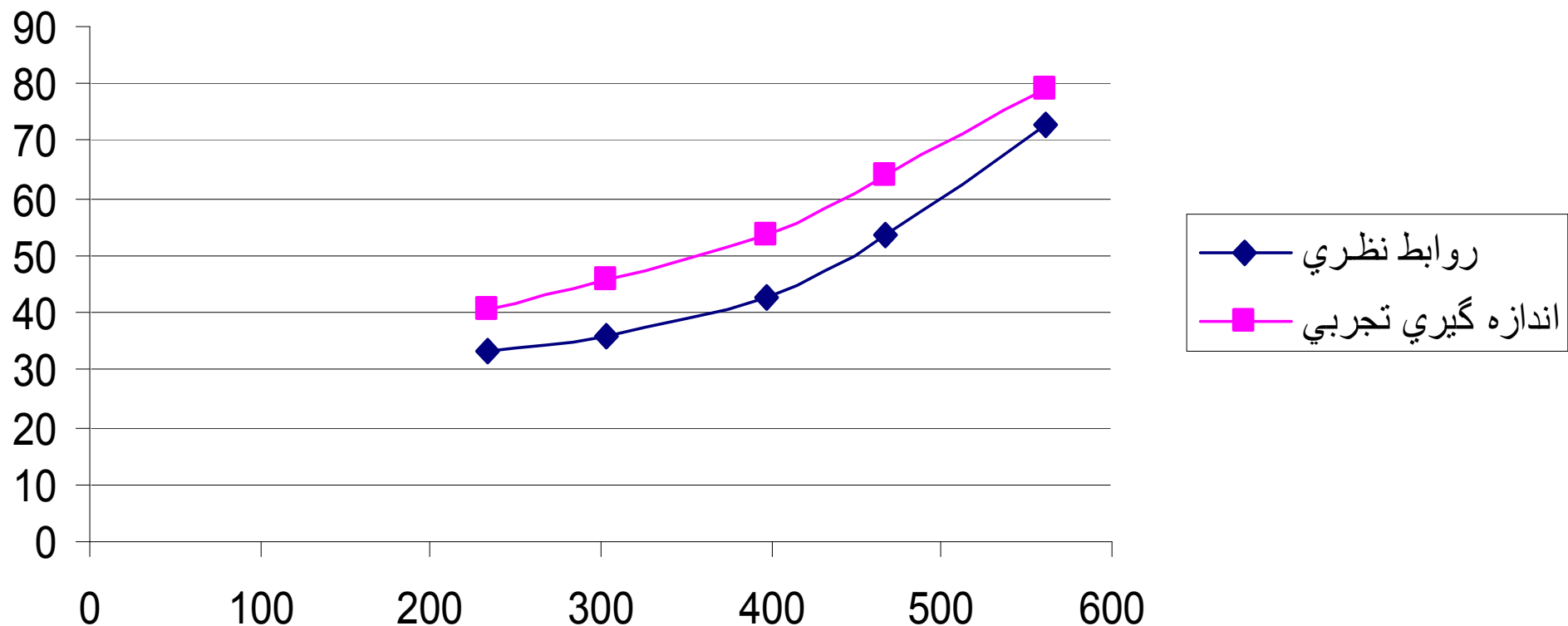
تغییرات دمای هوای تازه ورودی به ساختمان بر حسب نرخ جرمی هوای تازه



نتایج حاصل از روابط تئوری و اندازه گیریهای تجربی

۲- افت فشار

$$\frac{\Delta P}{P_1} = \frac{V_1^2 / 2g}{P_1 / P_2} \left[f \frac{A}{A_c} \frac{v_m}{v_1} + \left(K_c + (1 - \sigma^2) + \left(1 - \sigma^2 - K_e \left(\frac{v_2}{v_1} \right) \right) + 2 \left(\frac{v_2}{v_1} - 1 \right) \right) \right]$$



بحث و نتیجه گیری:

۱- روشهای تست موجود شامل:

- استاندارد ASHRAE مربوط به مبدلهای حرارتی هوا-هوا:

Method of Testing Air-to-Air Heat Exchanger, ASHRAE 84-91

- استاندارد DIN مربوط مبدلهای حرارتی هوا-هوا:

Heat Exchanger Test Procedures for Establishing the Performance of Air to Air and Flue Gases Heat Recovery Devices, DIN EN 308

- استاندارد ARI مربوط به مبدلهای حرارتی هوا-هوا:

Rating Air-to-Air Heat Exchangers for Energy Recovery Ventilation Equipment, ARI 1060

مطالعه و بررسی شدند.

۲- روش تست استاندارد شامل بندهای زیر، تعیین و تدوین گردیدند:

• علامت ها و زیرنوشتها

• تعاریف

- وسیله بازیافت گرما (Heat recovery device)

- هندسه مبدل هوا-هوا و نام گذاری مسیرها
- جریان های جرمی (Mass flows) و حجمی (Volume flow rates) و CFM (Cubic Foot Per Minute)
- بازده گرمائی محسوس (effectiveness thermal Sensible)
- شرایط مرجع هوا (BS) و (SI)
- دقت در اندازه گیری (Accuracy)
- روش آزمایش و انتخاب پارامترهای عملکردی (Basics of Performance Testing)
- اندازه گیری ها (Measurements)
- دستگاههای اندازه گیری فشار، دما و نرخ های حجمی (Instrumentation)
- دقت وسائل اندازه گیری
- شرایط اندازه گیری و مقادیر مجاز نوسانات در مقادیر اندازه گیری شده
- گزارش نتایج آزمایش (Test Report)
- شرایط دستگاه بازیافت گرما (Heat Recovery Device) و تجهیزات مورد استفاده در آن نظیر مشخصات فیزیکی (اندازه ها و وزن) مشخصات الکتریکی (ولتاژ و قدرت مصرفی)
- دماهای ورودی و خروجی
- جدول ثبت اطلاعات مربوط به بازده گرمائی (Thermal Effectiveness) برای شرایط زمستانی و تابستانی در نرخ های جرمی جریان هوای تازه ورودی به اتاق و \dot{r} های مختلف

- جدول تغییرات افت فشار (Pressure Drop) در نرخ های جرمی جریان هوای تازه ورودی و r های مختلف

- رسم نمودارهای بازده گرمایی و افت فشار بر حسب نرخ حجمی هوای تازه ورودی در r های مختلف

۳- دستگاه تست متناسب با روش استاندارد انتخاب، طراحی و ساخته شد.

۴- تست های عملکرد مبدل حرارتی نمونه انجام گرفت.

۵- بازده حرارتی و افت فشار در مبدل ساخته و تست شده بدست آمد.

نتایج روابط نظری و اندازه گیری های تجربی در محاسبه بازده گرمایی ۵ درصد، و در محاسبه افت فشار حدود ۷ درصد تفاوت دارند.

(می توان گفت که ساخت مبدل حرارتی هوا-هوا با دقت قابل قبولی انجام گرفته است).

۶- اطلاعات و محاسبات نظری و تجربی جهت تدوین استاندارد و تعیین حداقل بازده گرمایی مبدل (۰/۷ - ۰/۶۸) انتخاب شد.

برای استفاده در ساختمان عموماً نرخ حجمی هوای تازه با نرخ حجمی هوای آلوده یکسان است، (استفاده از یک موتور و دو فن).

۷- در افزایش بازده مبدل حرارتی هوا-هوا مواردی مانند:

- استفاده از سطح تبادل حرارتی بزرگتر
 - استفاده از دو هسته در مبدلهای حرارتی هوا-هوا
 - دقت در ساخت و اتصال یا نصب صفحات انتقال حرارت
 - آب بندی مناسب دو طرف سیال سرد و گرم
- مطرح می باشد. (هر چند کوچکی و جمع جور بودن از پارامترهای اساسی در مبدلهای حرارتی هوا-هوا است).

