



## تعیین معیار مصرف انرژی و رده بندی فن کویل های ساخت داخل

عباس عباسی<sup>۱</sup>، رضا عفت نژاد<sup>۲</sup>، سید محمد صادقزاده<sup>۳</sup>، عباس صالحیان<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت مقاله :	چکیده
۱۷ آذرماه ۱۳۸۶	
تاریخ پذیرش مقاله :	در مقاله حاضر، روش آزمون استاندارد فن کویل ها تشریح و متوسط مصرف انرژی
۱۶ دی ماه ۱۳۸۶	فن کویل های ساخت داخل بطریق تجربی و استاندارد تعیین شده است. با مقایسه شاخص
کلمات کلیدی:	مصرف انرژی ( وات/ دبی هوا یا وات / ۱۰۰۰ بی تی یو در ساعت) فن کویل های داخل و
برچسب انرژی فن کویل، رده بندی فن کویل ها، میزان مصرف انرژی، ظرفیت سرمایشی، ظرفیت گرمایشی، آزمون عملکرد استاندارد، شاخص مصرف انرژی	خارج، رده بندی فن کویل های ساخت داخل برای سه دوره سه ساله و برچسب انرژی آن پیشنهاد شده است.

(۱) دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک  
(۲) دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج  
(۳) دانشگاه شاهد، دانشکده فنی و مهندسی  
(۴) وزارت نیرو، دفتر بهینه سازی مصرف انرژی

## مقدمه

میزان مصرف سرانه انرژی در صورتی که با بهره‌وری مطلوب به مصرف برسد، یکی از شاخص‌های اساسی برای اندازه‌گیری توسعه و پیشرفت کشورها و جوامع است. مصرف انرژی در کشورهای توسعه یافته از رشد نسبتاً کمی برخوردار بوده و در برخی موارد دارای رشد منفی می‌باشد. در حالیکه مصرف انرژی در ایران حتی نسبت به کشورهای در حال توسعه هم بسیار بالا است. بر خلاف کشورهای در حال توسعه و توسعه نیافته، بخش اعظم انرژی در ایران در بخش‌های تجاری، خانگی و خدمات رفاهی به مصرف می‌رسد و به علت ارزانی لازم است اقدامی جدی برای جلوگیری از اتلاف آن بعمل آید.

به منظور تأمین هوای خنک و ایجاد برودت در تابستان و هوای گرم در زمستان برای فضاهای مختلف از قبیل هتل‌ها، بیمارستان‌ها، آپارتمان‌ها، ساختمان‌های تجاری - اداری و کلینیک‌ها می‌توان از فن‌کویل‌ها استفاده کرد. توانایی در اعمال کنترل بر روی دمای محیط و رطوبت آن از نقاط قوت استفاده از فن‌کویل‌ها می‌باشد.

## روشهای آزمون عملکرد استاندارد فن‌کویل‌ها

تعیین شاخص مصرف انرژی فن‌کویل‌ها نیازمند آزمایش آنها در شرایط توصیه شده در آزمون استاندارد می‌باشد. استانداردهای بین‌المللی مهم موجود عبارتند از استاندارد اشری (استاندارد انجمن مهندسين گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع آمریکا<sup>۱</sup>)، استاندارد ای آر ای (انستیتو تهویه مطبوع و تبرید آمریکا<sup>۲</sup>) و استاندارد ملی ایران به شماره ۳۷۴۰ با عنوان "دستگاه فن‌کویل و واحد تهویه اتاقی" به طور مشخص به این امر پرداخته و از این لحاظ، رعایت مفاد این استاندارد در انجام آزمون‌های عملکرد فن‌کویل‌ها ضرورت دارد. در استاندارد ملی ایران شماره ۱۳۷۵-۳۷۴۰، به طور مشخص استاندارد ARI 440-1993 به عنوان منبع مورد استفاده در تدوین این استاندارد ذکر شده است.

عمده شرکت‌ها و کارخانه‌های تولید کننده انواع فن‌کویل‌ها برای گرمایش و سرمایش در ایران از تکنولوژی‌های آمریکایی استفاده می‌کنند. بنابراین استانداردهای آمریکایی موجود در خصوص تست عملکرد فن‌کویل‌ها به لحاظ منطقی انطباق بیشتری با فن‌کویل‌های ساخت داخل دارند. شایان ذکر است که استاندارد ASHRAE 79-2002، از لحاظ تشریح کلیات، مشخصات ابزارهای اندازه‌گیری، تجهیزات تست، اتاق تست، روش‌های تست و محاسبات، جامع‌ترین استاندارد در میان استانداردهای خارجی می‌باشد. همین‌طور در استاندارد ARI - 440-1998، به طور مشخص ذکر شده است که برای تعیین ظرفیت و رتبه بندی فن‌کویل‌های اتاقی لازم است تا آزمون‌های تست عملکرد مطابق با مقررات تشریح شده در استاندارد ASHRAE-79-2002 باشد. در نتیجه سازگاری و انطباق کامل استاندارد های ARI--2002 ASHRAE 79 , 440 با استاندارد ملی ایران شماره ۳۷۴۰ و لزوم تبعیت از استانداردهای ملی (در صورت وجود) سبب

1) ASHRAE Standard , Method of Testing for Rating Fan – Coil Conditioners. ANSI / ASHRAE Standard 79- 2002.

2) ARI 440-1993

گردید تا استاندارد مرجع در خصوص تست عملکرد فن کویل‌ها، استاندارد ملی ایران انتخاب شده و طبق تصریح این استاندارد، روش های تست و محاسبات از استانداردهای ASHRAE و ARI برداشته شوند. تعیین ظرفیت استاندارد فن کویل‌ها باید به نحوی باشد که اگر هر فن کویلی به صورت تصادفی انتخاب شده و مطابق با این استاندارد مورد آزمایش قرارگیرد، دارای یک مقدار نرخ هوادهی، ظرفیت کل سرمایشی، ظرفیت گرمایشی و ظرفیت محسوس سرمایشی باشد که مقادیر آنها کمتر از ۹۵٪ مقادیر ظرفیت استاندارد نباشد و به علاوه توان ورودی الکتریکی بیش از ۱۱۰٪ مقادیر نامی استاندارد نباشد و همچنین افت فشار آب نیز بیش از ۱۱۰٪ مقادیر نامی استاندارد نباشد.

### نتایج آزمون های تجربی عملکرد فن کویل ها در حالت گرمایشی و سرمایشی

آزمون استاندارد عملکرد حرارتی و برودتی تعدادی از فن کویل‌های ساخت شرکت‌های مطرح داخلی، براساس دستورالعمل ذکر شده در استاندارد آزمون عملکرد فن کویل‌ها (استاندارد ملی ایران که منطبق بر استانداردهای ANSI / ASHRAE و نیز استاندارد ARI می‌باشد انجام گرفت [۲]. تصویر (۱) نشان دهنده بعضی از تجهیزات آزمایشگاه مورد اشاره می باشد. در طول انجام هر آزمایش، داده‌های حرارتی مربوط به موازنه انرژی نظیر دما، فشار، نسبت رطوبت، حجم مخصوص، دبی جرمی، دبی حجمی، نرخ حرارت انتقالی، ظرفیت گرمایی ویژه و غیره در نقاط مختلف (سمت آب و هوا) اندازه‌گیری و یا محاسبه شده‌اند.

در گزارش [۲] مقایسه ظرفیت‌های عملکردی چند نمونه از فن کویل‌های سرمایشی و گرمایشی تولید داخل با نمونه‌های ساخت شرکت‌های معتبر خارجی مقایسه شده است. معیار مقایسه، توان ویژه مصرفی بر حسب ظرفیت هوادهی (W/CFM) و نیز توان ویژه مصرفی بر حسب ظرفیت سرمایشی و گرمایشی (W/1000 Btu/h) فن کویل‌ها بوده است. شاخص توان ویژه مصرفی بر حسب ظرفیت هوادهی، در واقع نشان دهنده مقدار انرژی الکتریکی مصرفی برای تامین مقدار مشخصی از نرخ جریان هوا در فن کویل‌ها است که بطور کامل بستگی به طراحی مکانیکی کویل‌ها (الگوی جریان هوا، افت فشار و غیره) دارد. شاخص توان ویژه مصرفی بر حسب ظرفیت سرمایشی و گرمایشی نیز نشان می‌دهد که برای تامین مقدار مشخصی از سرما یا گرما چه میزان توان الکتریکی به مصرف می‌رسد. این شاخص نیز به طراحی حرارتی کویل‌های فن کویل وابسته است.

بدیهی است برای آنکه مشخصات عملکردی و نیز مقایسه شاخص‌های توان ویژه مصرفی برای محصولات تولیدی مختلف امکان‌پذیر گردد، لازم است تا توان الکتریکی مصرفی (W)، ظرفیت هوادهی (CFM) و ظرفیت سرمایشی و گرمایشی (Btu/h) آنها تحت شرایط تصریح شده در استانداردهای مربوطه اندازه‌گیری شود. از سوی دیگر بایستی فن کویل‌های با ظرفیت‌های هوادهی مشابه را با یکدیگر مقایسه نمود، زیرا که ظرفیت‌های مختلف هوادهی، بر سایر مشخصات عملکردی فن کویل‌ها تاثیر می‌گذارد.

در جداول (۱) و (۲) بطور نمونه به ترتیب مشخصات عملکرد استاندارد فن کویل مدل ۶۰۰ در حالت گرمایشی و سرمایشی ساخت شرکت های معتبر ایرانی و چند شرکت معتبر خارجی آورده شده است [۲].



تصویر (۱): یک نمونه فن کویل تحت آزمون به همراه کانال دریافت



جدول (۱): مشخصات عملکردی و مصارف ویژه انرژی فن کویل‌های گرمایشی تحت آزمون

(ظرفیت هوادهی: ۶۰۰ CFM)

مصارف ویژه انرژی			توان ورودی (Pe)	ظرفیت گرمایشی محسوس/کل (Qtha)	نرخ جریان آب (Qw)	ظرفیت هوا دهی (Qs)	نام / کد شرکت	
W/GPM	W/CFM	W / 10 <sup>3</sup> Btu/h	W	Btu/h	GPM	CFM		
۵۱/۴۶۶	-/۱۷۸	۲/۳۰۱	۹۸/۳	۴۲۷۲۰	۱/۹۱	۵۵۳/۶	HF۱	مستقی / افقی / مستقیم / ایستاده (Floor, Vertical) (Ceiling/ Horizontal)
۴۳/۲۲۸	-/۲۹۹	۴/۰۱۸	۱۶۳/۴	۴۰۶۷۰	۳/۷۸	۵۴۶/۴	HF۲	
۱۷/۴۳۳	-/۱۷۴	۲/۱۵۵	۹۷/۸	۴۵۳۸۰	۵/۶۱	۵۶۱/۹	HF۳	
۲۰/۹۵۲	-/۱۸۲	۲/۴۶۱	۱۰۱/۲	۴۱۱۲۰	۴/۸۳	۵۵۵/۵	HF۴	
۲۶/۹۶۶	-/۲۳۶	۳/۴۷۶	۱۲۵/۳	۳۶۰۵۰	۴/۶۵	۵۳۰/۱	HF۵	
۲۶/۸۵۰	-/۲۳۵	۳/۲۷۵	۱۲۷	۳۸۷۸۰	۴/۷۳	۵۴۰/۷	HF۶	
۲۱/۴۲۳	-/۱۸۶	۲/۵۳۱	۱۰۳/۹	۴۱۰۵۰	۴/۸۵	۵۵۸/۸	HF۷	
۷۲/۹۹۰	-/۵۰۲	۵/۸۶۱	۲۸۳/۲	۴۸۳۲۰	۲/۸۸	۵۶۴/۷	HD۱	(Duct)
۶۸/۹۶۶	-/۲۷۴	۷/۶۴۳	۱۸۰/۰	۲۳۵۵۰	۲/۶۱	۶۵۷	Dunham-Bush (FVBF)	
۲۸/۶۶۲	-/۲۷۴	۶/۳۵۴	۱۸۰/۰	۲۸۳۲۸	۶/۲۸	۶۵۷	Dunham-Bush (FVBB)	

ملاحظات مربوط به تست استاندارد ظرفیت گرمایشی		نام / کد شرکت
ARI standard ۴۱۰-۹۱ = ظرفیت گرمایشی مطابق با		HF۱-HF۷ HD۱
درجه حرارت هوای ورودی = ۷۰ °F DB	Motor: ۲۲۰ V , ۵۰ HZ , ۱ Ph , High speed	
دمای آب خروجی / دمای آب ورودی = ۱۸۰ / ۱۶۰ °F	Coil: ۳ row (Floor type) , ۴ row (Duct type)	
مشخصات کویل دو تایی (model: FVBF)	Medium speed, Air (in: ۲۰ °C , out: DB ۳۸ - ۳۹/۶ °C )	Dunham - Bush Inc.
	Water (in: ۷۵ °C , out ۶۵ °C )	
آردیفه (model: FVBB)	Medium speed, Air (in: ۲۰ °C , out: DB ۴۱/۶ - ۴۲/۶ °C )	
	Water (in: ۴۵ °C , out ۴۰ °C )	



جدول (۲): مشخصات عملکردی و مصارف ویژه انرژی فن کویل‌های سرمایشی تحت آزمون (ظرفیت هوادهی: CFM ۶۰۰)

مصارف ویژه انرژی			توان ورودی (Pe)	ظرفیت سرمایشی (Qtha)		نرخ جریان آب (Qw)	ظرفیت هوا دهی (Qs)	نام / کد شرکت	
				کل	محسوس				
W/GPM	W/CFM	W / 10 <sup>3</sup> Btu/h	W	Btu/h	Btu/h	GPM	CFM		
۳۲/۶۶۷	-/۱۶۴	۴/۴۵۵	۹۳/۱	۲۰۹۰۰	۱۴۰۸۰	۲/۸۵	۵۶۷/۲	CF۱	مستقی / افقی (Ceiling/ Horizontal) / زمینی / ایستاده (Floor, Vertical)
۴۱/۰۸۷	-/۲۶۸	۱۰/۰۰۰	۱۵۱/۲	۱۵۱۲۰	۱۰۳۱۰	۳/۶۸	۵۶۳/۲	CF۲	
۲۲/۱۲۷	-/۱۵۶	۵/۲۴۳	۹۰/۵	۱۷۲۶۰	۱۳۴۵۰	۴/۰۹	۵۷۹/۱	CF۳	
۲۵/۲۰۹	-/۱۶۹	۵/۷۷۳	۹۶/۳	۱۶۶۸۰	۱۱۹۸۰	۳/۸۲	۵۷۰/۲	CF۴	
۳۱/۳۷۴	-/۲۰۱	۸/۶۱۹	۱۱۴/۲	۱۳۲۵۰	۱۱۲۲۰	۳/۶۴	۵۶۸/۲	CF۵	
۳۱/۰۳۲	-/۲۱۱	۸/۰۴۵	۱۱۷/۳	۱۴۵۸۰	۱۱۰۶۰	۳/۷۸	۵۵۵/۷	CF۶	
۸/۰۴۵	-/۲۱۱	۳۱/۰۳۲	۹۴/۲	۱۴۹۰۰	۱۱۵۹۰	۳/۸	۵۷۲/۳	CF۷	
۷۲/۴۶۷	-/۴۸۴	۲۳/۷۰۰	۲۷۶/۱	۱۱۶۵۰	۱۰۳۲۰	۳/۸۱	۵۷۰/۱	CD۲	کانالی (Duct)
۶۰/۰۰۰	-/۳۰۰	۱۲/۹۵۰	۱۸۰/۰	۱۳۹۰۰	—	۳/۰۰	۶۰۰	USA coil & air (VFB۳)	
۴۴/۷۳۷	-/۲۸۳	۹/۱۴۰	۱۷۰/۰	۱۸۶۰۰	—	۳/۸۰	۶۰۰	USA coil & air (VFB۴)	
۶۰/۶۰۶	-/۲۷۴	۱۱/۲۲۱	۱۸۰/۰	۱۶۰۴۱	—	۲/۹۷	۶۵۷	Dunham-Bush (FVC DP)	
۵۷/۱۴۳	-/۲۷۴	۱۰/۵۴۸	۱۸۰/۰	۱۷۰۶۵	—	۳/۱۵	۶۵۷	Dunham-Bush (FVCr)	
۳۱/۲۵۰	-/۱۴۲	۵/۷۸۳	۷۵/۰	۱۲۹۶۹	—	۲/۴۰	۵۳۰	Dunham-Bush (FVBF)	
۲۷/۶۷۵	-/۱۴۲	۵/۱۱۰	۷۵/۰	۱۴۶۷۶	—	۲/۷۱	۵۳۰	Dunham-Bush (FVBB)	

ملاحظات مربوط به تست استاندارد ظرفیت سرمایشی		نام / کد شرکت
Cooling rating based on: ARI standard 410-91		CF۱-CF۷ CD۲
دمای هوای ورودی = ۸۰ °F DB , ۶۷ °F WB	Motor: ۲۲۰ V , ۵۰ HZ , ۱ ph , High speed	
دمای آب خروجی / دمای آب ورودی = ۴۵/۵۵ °F	Coil: ۳ row (Floor type), ۴ row (Duct type)	
ARI Certificate, Water temperature rise : ۱۰ °F		USA coil & air
Motor medium speed, Chilled water (in: ۶ °C, out: ۱۲ °C)		Dunham-Bush Inc.
Air (in: ۲۷ °C, ۵۰% RH, out: DB ۱۰/۴ - ۱۱/۵ °C, WB ۹/۷- ۱۰/۵ °C)		



صحت نتایج بدست آمده برای موازنه حرارتی فن کویل ها در حالت عملکرد گرمایشی و سرمایشی در جداول (۳) و (۴) ارائه شده است.

جدول (۴): صحت نتایج آزمون عملکرد سرمایشی

فن کویل ها

مدل	HB (درصد)
C ۲۰۰	۵/۳۳
C ۴۰۰	۴/۵۸
C ۶۰۰	۵/۶۱
C ۸۰۰	۲/۰۶
C ۱۰۰۰	۳/۰۹
C ۱۲۰۰	۴/۲۸

جدول (۳): صحت نتایج آزمون عملکرد گرمایشی

فن کویل ها

مدل	HB (درصد)
H	۵/۰۸
H	۶/۰۰
H	۵/۵۵
H	۴/۳۱
H	۴/۷۶
H	۵/۲۳

طبق دستورالعمل آزمون تست استاندارد، باید مقدار HB (Heating Balance) موازنه حرارتی کمتر از ۶ درصد باشد.

محاسبات موازنه حرارتی و متوسط ظرفیت‌ها:

- متوسط ظرفیت‌های سرمایشی در سمت آب و هوا باید از روابط زیر محاسبه شود:

$$q_c = 0.5(q_{tca} + q_{tcw} - q_e)$$

موازنه حرارتی بین ظرفیت های سمت آب و هوا باید به صورت زیر محاسبه شود:

$$HB = \frac{100(q_{tca} - q_{tcw} + q_e)}{q_c}$$

- متوسط ظرفیت‌های گرمایشی باید به صورت زیر محاسبه شود:
- کویل‌های آبی:

$$q_h = 0.5(q_{tha} + q_{thw} + q_e)$$

موازنه حرارتی بین ظرفیت های سمت آب و هوا باید از رابطه زیر محاسبه شود:

$$HB = \frac{100(q_{tha} - q_{thw} - q_e)}{q_h}$$

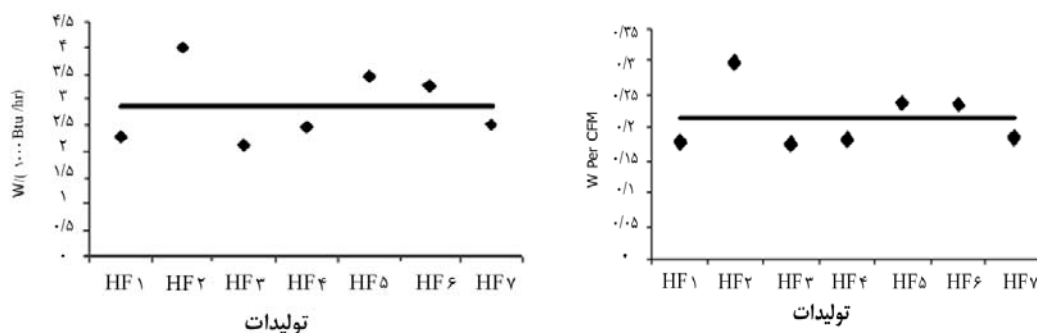
- کویل‌های الکتریکی:

$$q_h = 0.5(q_{tha} + q_{ee} + q_e)$$

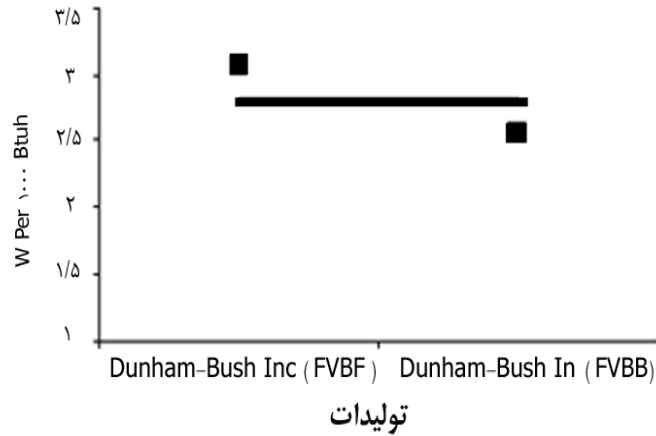
موازنه حرارتی بین ظرفیت های سمت هوا و کویل الکتریکی باید از رابطه زیر محاسبه شود:

$$HB = \frac{100 (q_{tha} - q_{ee} - q_e)}{q_h}$$

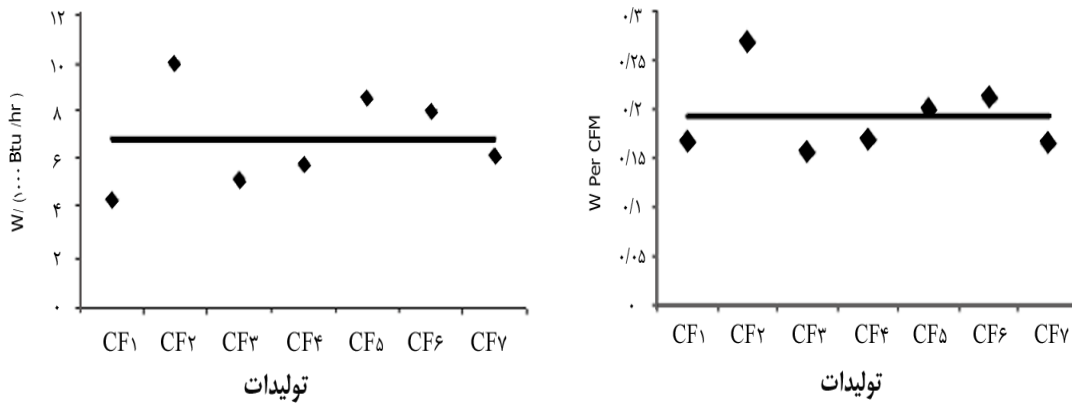
مقادیر جداول بالا نشان می دهند که همه مدلها در محدوده مجاز آزمون عملکرد هستند. ضمناً نتایج آزمون فن کویلها در جداول، کد H نشان دهنده آزمون فن کویل در حالت گرمایشی، کد C نشان دهنده آزمون فن کویل در حالت سرمایشی، کد F نشان دهنده فن کویلهای زمینی و سقفی (ایستاده و افقی)، کد D نشان دهنده فن کویلهای کانالی و شماره های ۱ تا ۷ نشان دهنده کد شرکت های داخلی سازنده فن کویلهای مورد آزمون می باشند. به این ترتیب امکان محاسبه شاخصهای توان ویژه مصرفی بر حسب ظرفیت هوادهی و نیز ظرفیت سرمایشی و گرمایشی بین فن کویلهای تولید داخل و محصولات مشابه شرکت های خارجی فراهم می آید. شاخصهای توان ویژه مصرفی در ستونهای آخر جداول مذکور محاسبه و آورده شده اند. جهت مقایسه کیفی مشخصات عملکردی فن کویلهای ساخت داخل با نمونه های مشابه خارجی، شاخصهای توان ویژه مصرفی بر حسب ظرفیت هوادهی و نیز ظرفیت سرمایشی و گرمایشی نمونه های مختلف فن کویلها بر حسب ظرفیت های هوادهی آنها، در شکل های (۱) و (۲) مربوط به حالت گرمایشی و (۳) و (۴) مربوط به حالت سرمایشی مشاهده می گردند.



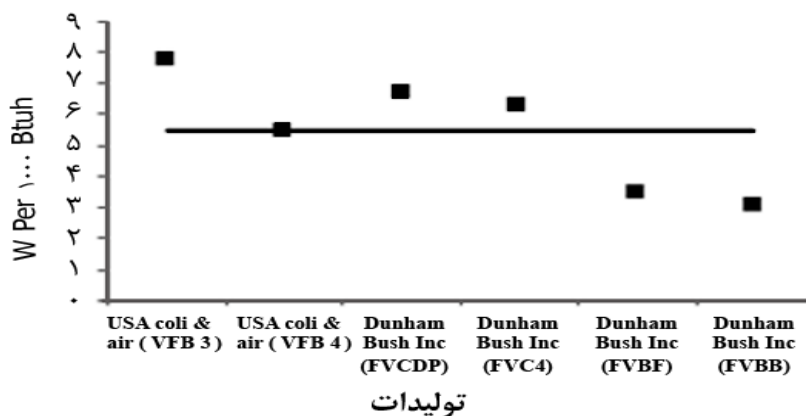
نمودار (۱): مصرف ویژه انرژی فن کویل های گرمایشی / زمینی ساخت شرکت های داخلی  
(در ظرفیت هوادهی ۶۰۰ CFM)



نمودار (۲): مصرف ویژه انرژی فن کویل‌های گرمایشی ساخت شرکت‌های خارجی (در ظرفیت هوادهی ۶۰۰ CFM)



نمودار (۳): مصرف ویژه انرژی فن کویل‌های سرمایشی / زمینی ساخت شرکت‌های داخلی (در ظرفیت هوادهی ۶۰۰ CFM)



## تولیدات

نمودار(۴): مصرف ویژه انرژی فن کویل‌های سرمایشی ساخت شرکت‌های خارجی (در ظرفیت هوادهی ۶۰۰ CFM)

شایان ذکر است که عملکرد فن کویل‌های ساخت شرکت‌های خارجی در پاره‌ای موارد در شرایطی متفاوت با شرایط استاندارد انتخاب شده در این گزارش مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. به عنوان مثال ممکن است ظرفیت گرمایشی و یا سرمایشی فن کویل در دور متوسط آن ارائه شده باشد در صورتی که تست عملکرد فن کویل‌های ساخت داخل در دور زیاد فن کویل‌ها انجام پذیرفته است. در اینگونه موارد و موارد دیگری از جمله تفاوت در میزان نرخ جریان آب گردش (GPM)، تفاوت در درجه حرارت‌های ورودی آب گردش و هوای تحویلی و غیره، ضرایب تصحیح مربوطه باید بکار برده شوند.

در این مقاله، مقادیر حاصل از آزمون عملکرد فن کویل‌های ساخت شرکت‌های معتبر خارجی عیناً در جدول ارائه شده‌اند، اما برای آنکه مقایسه کیفی نتایج مورد اشاره با مقادیر مشابه فن کویل‌های ساخت داخل امکان‌پذیر گردد، مقادیر توان ویژه مصرفی نمونه فن کویل‌های خارجی پس از اعمال ضرایب تصحیح در شکل‌ها آورده شده‌اند. نتایج حاصل از مقایسه مقادیر بدست آمده از آزمون‌های تجربی با اطلاعات ارائه شده در کاتالوگ بسیاری از نمونه فن کویل‌های ساخت داخل نشان می‌دهد که اختلافاتی در داده‌های واقعی عملکرد فن کویل‌های گرمایشی و سرمایشی با داده‌های درج شده در کاتالوگ این محصولات وجود دارد.

بعلاوه همانطور که از شکل‌های مقایسه‌ای نیز مشاهده می‌گردد، نتایج تست عملکرد حرارتی و برودتی فن کویل‌های ساخت داخل با مشخصات عملکردی نمونه‌های مشابه خارجی در ظرفیت‌های مشابه گرمایشی و سرمایشی نیز اختلاف زیادی دارد که نشان دهنده ضعف عملکرد دستگاه‌های ساخت داخل به لحاظ بازدهی انرژی می‌باشد.

مقایسه ظرفیت‌های عملکردی فن کویل‌های ساخت داخل با بهترین نمونه‌های خارجی به لحاظ کارایی انرژی، این امکان را بوجود می‌آورد که سیاستگذار بتواند با شناسایی فاصله شاخص‌های عملکردی دستگاه‌های داخلی با نمونه‌های مشابه خارجی، نسبت به تدوین یک برنامه قانونی لازم الاجرا با هدف بهینه‌سازی عملکرد انرژی فن کویل‌های ساخت



داخل اقدام نماید. بدیهی است ویژگی اصلی قوانین وضع شده، امکان‌پذیر بودن اجرای آنها با توجه به پتانسیل صنایع سازنده این دستگاهها در کنار محدودیت‌های فنی و اقتصادی مربوطه می‌باشد.

با توجه به آنکه فن‌کویل‌ها، ماهیتاً ساختمانی ترکیبی داشته و از اجزا مختلفی شامل الکتروموتور، سطح حرارتی، سیستم کنترل دور موتور و سیستم کنترل دما تشکیل می‌شوند، بهینه‌سازی بازدهی انرژی این دستگاهها باید در حوزه‌های متنوعی از علوم مهندسی جستجو شود. از این رو، حذف فاصله موجود بین شاخصهای عملکردی فن‌کویل‌های ساخت داخل (توان ویژه مصرفی بر حسب ظرفیت هوادهی و نیز ظرفیت سرمایشی و گرمایشی) با مقادیر بهینه جهانی تنها از طریق تجدیدنظر در مدلسازی و طراحی حرارتی سطوح انتقال حرارت کویل‌ها، استفاده از جنس بهتر مواد در ساخت سطوح، استفاده از سیستم‌های مدرن کنترل عملکرد و بهره‌مندی از الکتروموتورهای راندمان بالا امکان‌پذیر می‌باشد. در این راه، استفاده از تجربه سایر کشورهای پیشرو در امر طراحی و ساخت فن‌کویل‌ها اجتناب‌ناپذیر است.

از سوی دیگر تحقق این امر مستلزم پشتیبانی قانونی برای لازم‌الاجرا نمودن روند بهینه‌سازی عملکرد فن‌کویل‌ها در کارخانجات سازنده آنهاست. به معنای دیگر لازم است تا قانون‌گذار ضمن حمایت‌های فنی و اقتصادی، مسیری لازم‌الاجرا را پیش روی کارخانه‌های داخلی سازنده فن‌کویل قرار دهد که به تولید محصولات با بازدهی انرژی بالاتر منجر می‌شود. تجربه سایر کشورها در این زمینه، تعیین جدول زمانی برای بهبود ظرفیت عملکردی فن‌کویل‌های ساخته شده در این کشورها بوده است.

به این ترتیب و با توجه به مقایسه ظرفیت‌های عملکردی فن‌کویل‌های موجود داخلی با مقادیر بهینه آن، پتانسیل‌های فنی و اقتصادی کارخانه‌های سازنده فن‌کویل در کشور، میزان تولیدات آنها، بازار داخلی و غیره به نظر می‌رسد که در یک فاصله زمانی نه ساله (سه دوره سه ساله) امکان کاهش متوسط توان ویژه مصرفی (بر حسب ظرفیت هوادهی و نیز ظرفیت سرمایشی و گرمایشی) فن‌کویل‌های ساخت داخل تا حد بهینه جهانی آن وجود داشته باشد.

### تعیین رتبه‌های مصرف انرژی و ارائه طرح بر چسب انرژی فن‌کویل‌های تولیدی در ایران

گام بعدی پس از انجام آزمون‌های استاندارد عملکرد گرمایشی و سرمایشی فن‌کویل‌ها، تعیین رتبه مصرف انرژی این دستگاهها می‌باشد. رتبه‌بندی مصرف انرژی فن‌کویل‌ها از یک سو با هدف ترغیب مصرف‌کنندگان به استفاده از وسایل پربازده از لحاظ مصرف انرژی و از سوی دیگر با هدف واردکردن یک پارامتر فنی در بازار رقابتی تولیدکنندگان این وسایل صورت می‌پذیرد. به علاوه بخش قانونگذار می‌تواند با وضع بازه‌های استاندارد مصرف انرژی و تجدیدنظر در مقادیر آن در دوره‌های زمانی سه دوره سه ساله وضع استانداردها و قوانین الزام‌آور از یک سو و حمایت از تولیدکنندگان از سوی دیگر روند تولید این وسایل را به سمت بازده بهینه مصرف انرژی سوق دهد. نتایج حاصل از آزمون‌های تست عملکرد انرژی فن‌کویل‌ها و مقایسه آن با مقادیر بهینه جهانی از یک طرف و محدودیت‌های فنی و مالی موجود در صنایع کشور برای اعمال تغییرات فنی لازم بر روی خطوط تولید فن‌کویل‌ها با هدف تولید محصولات با بازده انرژی بالاتر از طرف دیگر، مقادیر پیشنهادی رتبه‌بندی مصرف انرژی برای فن‌کویل‌های تولید داخل در حالت‌های عملکردی گرمایشی و سرمایشی را بصورت جداول (۵) تا (۷) نشان می‌دهد.



جدول (۵): پیشنهاد رتبه‌بندی مصرف انرژی برای فن‌کویل‌های (زمینی، سقفی) ۳۰۰ CFM (سه ساله اول)

ظرفیت سرمایشی $Y = W / (1000 \text{ Btu/h})$	ظرفیت گرمایشی $X = W / (1000 \text{ Btu/h})$	رتبه
$Y < 7/0$	$X < 2/4$	A
$7/0 \leq Y < 7/1$	$2/4 \leq X < 2/7$	B
$7/5 \leq Y < 8/5$	$2/7 \leq X < 3/1$	C
$8/5 \leq Y < 9/5$	$3/1 \leq X < 3/5$	D
$9/5 \leq Y < 10/5$	$3/5 \leq X < 3/9$	E
$10/5 \leq Y < 11/5$	$3/9 \leq X < 4/3$	F
$11/5 \leq Y < 12/5$	$4/3 \leq X < 4/7$	G

جدول (۶): پیشنهاد رتبه‌بندی مصرف انرژی برای فن‌کویل‌های (زمینی، سقفی) ۳۰۰ CFM (سه ساله دوم)

ظرفیت سرمایشی $Y = W / (1000 \text{ Btu/h})$	ظرفیت گرمایشی $X = W / (1000 \text{ Btu/h})$	رتبه
$Y < 6/3$	$X < 2/1$	A
$6/3 \leq Y < 6/8$	$2/1 \leq X < 2/3$	B
$6/8 \leq Y < 7/5$	$2/3 \leq X < 2/6$	C
$7/5 \leq Y < 8/2$	$2/6 \leq X < 2/9$	D
$8/2 \leq Y < 8/9$	$2/9 \leq X < 3/2$	E
$8/9 \leq Y < 9/8$	$3/2 \leq X < 3/6$	F
$9/8 \leq Y < 10/8$	$3/6 \leq X < 4/0$	G

جدول (۷): پیشنهاد رتبه‌بندی مصرف انرژی برای فن‌کویل‌های (زمینی، سقفی) ۳۰۰ CFM (سه ساله سوم)

ظرفیت سرمایشی $Y = W / (1000 \text{ Btu/h})$	ظرفیت گرمایشی $X = W / (1000 \text{ Btu/h})$	رتبه
$Y < 6/9$	$X < 3/3$	A
$6/9 \leq Y < 8/2$	$3/3 \leq X < 3/4$	B
$8/2 \leq Y < 9/2$	$3/4 \leq X < 3/6$	C
$9/2 \leq Y < 10/1$	$3/6 \leq X < 4/4$	D
$10/1 \leq Y < 11/3$	$4/4 \leq X < 4/6$	E
$11/3 \leq Y < 12/5$	$4/6 \leq X < 4/9$	F
$12/5 \leq Y < 13/7$	$4/9 \leq X < 5/2$	G

همانگونه که از مقادیر مندرج در جداول مذکور نیز پیداست، معیار تعیین بازه‌های تعریف‌شده برای رتبه‌های مختلف سهولت در تغییر رتبه‌های مصرف انرژی از سطوح پایین‌تر و مشکل‌شدن تغییر رتبه در سطوح بالاتر رتبه‌بندی مصرف انرژی می‌باشد که این امر به ماهیت فنی بکار رفته در ساخت فن‌کویل‌ها بر می‌گردد. به معنای دیگر تغییر رتبه یک فن‌کویل از سطح E به سطح D به لحاظ فنی ساده‌تر و امکان‌پذیرتر از تغییر رتبه از سطح B به سطح A می‌باشد. از آنجاییکه از فن‌کویل‌ها در دو حالت عملکردی گرمایشی و سرمایشی استفاده می‌شود، رتبه‌های مصرف انرژی فن‌کویل‌ها به صورت جداگانه برای ظرفیت‌های گرمایشی و سرمایشی آنها ارائه شده است. بر این اساس رتبه مصرف انرژی یک فن‌کویل در یک سطح مشخص مثلاً C هنگامی اخذ می‌گردد که مقادیر ظرفیت‌های گرمایشی و سرمایشی فن‌کویل مورد نظر هر دو در محدوده بازه‌های تعریف‌شده برای سطح رتبه بازه انرژی C قرار گیرد. بدیهی است در صورتیکه یکی از بازه‌های مصرف انرژی برای عملکرد گرمایشی و یا سرمایشی ارضا نشود و به عنوان مثال رتبه مصرف انرژی فن‌کویل مورد بحث در حالت عملکرد گرمایشی در سطح D قرار گیرد، در حالیکه رتبه مصرف انرژی در حالت عملکرد سرمایشی در سطح C قرار داشته باشد، رتبه مصرف انرژی آن فن‌کویل، رتبه پایین‌تر یعنی رتبه D خواهد شد. نمونه برجسب انرژی طراحی شده برای فن‌کویل‌های ساخت داخل منطبق با نمونه‌های مشابه سایر تجهیزات انرژی بر در کشور در شکل (۲) پیشنهاد شده است.

برچسب مصرف انرژی موتورهای ماشین لباسشویی	انرژی
<p>بازدهی بیشتر</p> <p>بازدهی کمتر</p>	
<p>توان خروجی اسمی (KW):                      ضریب توان:                      سرعت اسمی (بالا) (R.P.M.):                      سرعت اسمی پایین (R.P.M.):                      بازده در بار اسمی و سرعت بالا:                      بازده در بار اسمی و سرعت پایین:                      طبقه عایقی:                      نام تولید کننده:                      مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره .....</p>	

شکل (۲): برچسب مصرف انرژی فن‌کویل‌های (زمینی/کانالی)



## منابع

- [۱] ترازنامه انرژی ۱۳۷۸، معاونت امور انرژی، وزارت نیرو.
- [۲] عباس عباسی، "مطالعات پژوهشی در خصوص تعیین شاخص‌ها، تدوین استاندارد مصرف انرژی فن‌کویل‌های ساخت داخل و ارائه بر چسب انرژی"، دفتر بهینه‌سازی انرژی، معاونت انرژی وزارت نیرو، ۱۳۸۵.

## تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند که از معاونت محترم امور برق و انرژی جهت حمایت مالی از پروژه "مطالعات پژوهشی در خصوص تعیین شاخص‌ها، تدوین استاندارد مصرف انرژی فن‌کویل‌های ساخت داخل و ارائه بر چسب انرژی" سپاسگزاری نمایند.

## نمادها

HB	تلفانس موازنه حرارتی، درصد
$P_{ee}$	توان ورودی به المنت مقاومت الکتریکی، W
$q_c$	متوسط ظرفیت سرمایشی در سمت آب و هوا $(W) \text{ Btu/hr}$
$q_e$	معادل گرمای ورودی ناشی از عملکرد موتورفن، $(W) \text{ Btu/hr}$
$q_{ee}$	معادل گرمای ورودی به المنت مقاومت الکتریکی، $(W) \text{ Btu/hr}$
$q_h$	متوسط ظرفیت گرمایشی در سمت هوا و آب (یا در سمت المنت الکتریکی) $(W) \text{ Btu/hr}$
$q_{tca}$	کل ظرفیت سرمایشی، سمت هوا، $(W) \text{ Btu/hr}$
$q_{tha}$	کل ظرفیت گرمایشی، سمت هوا $(W) \text{ Btu/hr}$
$q_{tcw}$	کل ظرفیت سرمایشی، سمت آب $(W) \text{ Btu/hr}$
$q_{thw}$	کل ظرفیت گرمایشی، سمت آب $(W) \text{ Btu/hr}$