علوم و تکنولوژی محیط زیست ، دوره سیزدهم، شماره یک، بهار ۹۰

برآورد پتانسیل تولید RDF از پسماندهای بازکنی شده در مکان های دفن ایران

(مورد مطالعاتی مرکز دفن آرادکوه تهران)

سید امیر ناصر هراتی [1*]
haratia@gmail.com
رضا عبداله زاده [2]
رضا جلوس جمشیدی [3]

تاریخ دریافت:۸۶/۷/۲۰ **تاریخ پذیرش:۸۷/۷/۱۹**

چکیده

با توجه به این که حفظ منابع طبیعی و محیط زیست از دغدغه‌های اصلی کشورهای پیشرفته و در حال توسعه می باشد، لذا حفظ خاک و جلوگیری از آلودگی آن به وسیله پسماند شهری در دستور کار تمامی نهادهای زیست محیطی قرار دارد. در این راستا بازکنی و احیای مراکز دفن قدیمی پسماند یکی از راه های اصولی حفظ منابع بوده و نقش تعیین کننده‌ای در کاهش انتشار شیرابه و گازهای گلخانه ای دارد. از طرف دیگر پسماند به دست آمده خود دارای موارد و مشکلات خاصی است که در این مطالعه سعی بر آن شده تا پس از بررسی گزینه های مختلف دفع، گزینه تبدیل پسماند بازکنی شده به سوخت جایگزین (RDF) به طور کامل مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. در پایان نیز با ارایه چرخه پیشنهادی تولید RDF برای ایران، نتایج به دست آمده با سایر نقاط جهان مقایسه شده است.

واژه های کلیدی: بازکنی، آرادکوه، دفنگاه، بازکنی، سوخت مشتق از زباله.

۱- دکترای عمران- محیط زیست، دانشکده عمران دانشگاه خواجه نصیر الدین توسی *(مسئول مکاتبات).
۲- کارشناس ارشد مدیریت محیط زیست، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران
۳- کارشناس ارشد محیط زیست، دانشکده عمران دانشگاه صنعتی اصفهان

مقدمه

دفع زباله های شهری تهران با توجه به رشد روز افزون جمعیت آن طی دو دهه گذشته به مشکلی بزرگ تبدیل شده است. از آن جا که زیر بنای موجود، برای این میزان از رشد جمعیت برنامه ریزی نشده ظرفیت مراکز دفن زباله به پایان رسیده است. از سوی دیگر به دلیل تهدید منابع محدود آب های زیر زمینی شهر تهران که به واسطه دفع فاضلاب آب های مصرفی و صنعتی در معرض خطر قرار دارند، دفن زباله از هر زمان دیگر نامطلوب تر شده است. بنابراین به نظر می رسد جدای از تفکر در مورد سایر روش های امحای پسماند، باید به مقوله مراقبت های پس از دفن و اصلاح و احیای مکان های دفن نیز پرداخته شود.

با توجه به مقالات بازکنی[1] در دنیا و انجام فرایند روی مواد بازکنی شده، سابقه بازکنی برای احیای خاک به سال ۱۹۵۳ باز می گردد. در سال۱۹۸۶ در ایالت متحده در ایالت فلوریدا طرح بازکنی مکان دفن ناپل که یک مکان دفن پسماند شهری بود به منظور حفاظت از منابع آب، بازیافت خاک، افزایش عمر مکان دفن و تولید انرژی به اجرا در آمد(۱). در سال ۱۹۹۱ مشابه این طرح در ادینبورگ نیویورک به اجرا در آمد(۲).

در سال ۱۹۹۳ در مرکز دفن FREY FARM لانکاستر پنسیلوانیا این روش برای اختلاط با زباله تازه و استفاده در فرایند RDF[2] مورد استفاده قرار گرفت. پیش از آن در سال ۱۹۹۰ در این مرکز دفن یک زباله سوز مستقر شد و مقدار زباله دفنی کاهش یافت. مسئولین تصمیم گرفتند برای تولید انرژی از زباله های دفنی به صورت مخلوط با زباله های جدید در زباله سوز استفاده کنند. ارزش حرارتی هر کیلو گرم این زباله ها ۳/۰۸۰ Btu اندازه گیری شد. برای رسیدن به عدد ۵/۰۶۰ Btu در هر کیلو گرم، مقرر شد چهار قسمت زباله تازه با یک قسمت زباله بازکنی شده مخلوط شود.

در خلال سال های ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۳ حدود ۲۱۹۴۷ مترمکعب پسماند دفن شده و ۶۴۵ تن مواد در هفته برای سوزاندن تهیه شد. در یک نتیجه گیری ۵۶٪ از پسماندها به منظور سوزاندن بازکنی شد و ۴۱٪ خاک توسط سرند استوانه ای بازیافت گردید. و ۳٪ باقی مانده غیرقابل سوزاندن و بازیافت بود که مجددا" دفن شد. در سال ۱۹۹۶ (پایان طرح) ۲۲۹۳۶۶/۵ تا ۳۰۵۸۲۲ متر مکعب از این مرکز دفن بازکنی شد. قبل از شروع فعالیت های طرح، طرح ایمنی انجام پروژه طرح ریزی و در اختیار مسئولان اجرایی قرار گرفت. در طول دوره فعالیت ها تلاش شد تا تجهیزات به لایه های محافظ کف مرکز دفن آسیب وارد نکنند. وضعیت گازهای موجود در مرکز دفن نیز در محیط توسط یک دستگاه سنجش قابل حمل و یک خودرو به طور دایم کنترل شد(۳).

مزایای این پروژه: بازکنی فضای مرکز دفن و تولید انرژی، به علاوه بازیافت خاک و مواد ارزشمند

معایب پروژه: افزایش میزان خاکستر موجود در محیط به دلیل وجود خاک در زباله های بازکنی شده، افزایش بوی نامطبوع به دلیل بازکنی ترانشه ها، افزایش ترافیک در مسیر انتقال مواد به زباله سوز، افزایش استهلاک تجهیزات و زباله سوز به دلیل سایش مواد بازکنی شد حاوی خاک.

هزینه ها نیز به دلایل زیر کاهش یافت:

به دلیل فاصله کم انتقال مواد به زباله سوز

آنالیز دقیق اقتصادی در مورد قیمت مواد دفنی و میزان فروش آن ها

کنترل مرکز دفن و زباله سوز طی یک مدیریت واحد

لازم به توضیح است که اغلب هزینه‌ها شامل استهلاک تجهیزات بود

همچنین در سال۲۰۰۵ در تایلند مواد بازکنی شده برای استفاده در RDF مورد فرایند قرار گرفت (۴).

1- Reclamation
2- Refuse Derived Fuel

در ایـران نیـز در سـال ۲۰۰۷ هراتـی، عبدالـه زاده و جمشـیدی بـازکنی منطقـه حسـین آبـاد مکـان دفـن کهریزک را مـورد بررسـی قـرار دادنـد(۵). بـا توجـه بـه مـوارد یـاد شـده در ایـن تحقیـق سـعی بـر آن اسـت تـا پتانسـیل تولیـد RDF از پسـماندهای بـازکنی شـده در ایـران، مـورد ارزیابی قرار گیرد.

روش تحقیق

با عنایت بـه مـوارد ذکـر شـده محـدوده ای از مرکـز دفن کهریزک[1] واقـع در اراضـی شـمالی ایـن مرکـز بـه منظـور بازکنی مورد مطالعـه قـرار گرفتـه کـه طـی یـک دوره فعالیـت میـدانی مشخصـات فیزیکـی، شـیمیایی و بیولـوژیکی پسـماند موجود در این محل به شرح ذیل برداشت شده است.

مرکـز دفـن زبالـه شـهری تهـران را بـا توجـه بـه دوره هـای مختلـف دفـن بـه چهـار قسـمت A، B، C وD تقسـیم کـرده ایـم کـه دو ناحیـه A وB بـا توجـه بـه عمـر بیشتر و پیش بینـی انجـام شـده جهـت بـازکنی مرکـز دفـن و انجام محاسبات مناسب تشخیص داده شدند.

منطقـه A بـا نـام حسـین آبـاد، کـه عملیـات در آن بـین سـال هـای ۱۹۹۲ تـا ۱۹۹۴ (دو سـال) و ۲۰۰۰ تـا ۲۰۰۲ (دو سـال) صـورت مـی گرفتـه کـه بـه ابعـاد ۹۰۰*۶۰۰ متـر معـادل ۵۵ هکتـار مـی باشـد کـه شـامل ۸/۱ میلیون تن زبالـه بـوده و دیگـر از آن بـه منظـور محـل ذخیـره زبالـه اسـتفاده نمـی شـود. جـدول ۱ وضـعیت دفـن در خـلال سـال هـای ۹۲ تـا ۲۰۰۲ را در ایـن منطقـه نشـان مـی دهـد. لازم بـه ذکـر اسـت عمـق متوسـط در هـر لایـه از منطقـه A (حسـین آبـاد) معـادل ۱۳ متـر و در مجمـوع ۲۶ متـر ارزیـابی شـده ولـی در شـرایط حقیقـی بـین ۵۰- ۱۰ متـر متغیـر است(۶).

جدول۱- میزان دفن در منطقهA

سال	میزان زباله دفنی (تن)	مجموع دوره های دفن
۲۰۰۱-۰۲	۲/۴۲	۳/۵۴
۲۰۰۰-۰۱	۱/۱۲	
۱۹۹۳-۹۴	۲/۳۳	۴/۵۶
۱۹۹۲-۹۳	۲/۲۳	
۸/۱	**جمع**	

ترکیب پسماندهای دفن شده در این محدوده مطالعاتی به شرح جدول ۲ می باشد.

جدول ۲- ماهیت پسماند شهری تهران

نوع پسماند	درصد	نوع پسماند	درصد
فلزات غیر آهنی	۰/۲	پسماند آلی	۶۷/۸
منسوجات	۳/۴	نان	۱
شیشه	۲/۴	پلاستیک نرم	۲/۲
چوب	۱/۷	پلاستیک سخت	۰/۶
لاستیک	۰/۷	پت	۰/۷
چرم	۰/۶	مشمع	۶/۲
خاکروبه	۱/۳	کاغذ	۴/۴
پسماند ویژه درمانی	۱/۶	مقوا	۳/۷

همچنین شرایط محیطی حاکم بر این محدوده مطالعاتی به شرح جدول ۳ می باشد.

جدول ۳- شرایط محیطی مرکز دفن

بارش سالانه	۲۴۰ میلی متر
دمای محیط	زمستان: میانگین ۱۰ تا ۱۶ درجه سانتی گراد، حداقل ۵- درجه سانتی گراد تابستان: میانگین ۲۶ درجه سانتی گراد، حداکثر ۴۰ درجه سانتی گراد میانگین سالانه دما: ۱۸ درجه سانتی گراد
نرخ تبخیر	۲۵۰۰ میلی متر در سال
رطوبت	زمستان: ۵۷٪ * تابستان: ۱۶٪* میانگین: ۳۲٪

۱- تنها مرکز دفن تهران واقع در کیلومتر ۲۰ جنوب تهران

به منظور اجرای طرح بازکنی محدوده مطالعاتی می توان دو مرحله در نظر گرفت. مرحله۱ مربوط به دوره دفن ۲۰۰۱-۲۰۰۰ (جدول ۴) و مرحله۲ مربوط به دوره ۱۹۹۴- ۱۹۹۳ (جدول ۵) می باشد و برای هر مرحله نیز می توان سه گام متصور بود.

- **مرحله اول (۲۰۰۰و ۲۰۰۱)**
- گام اول: جمع آوری خاک پوشش رو
- گام دوم: خارج نمودن پسماندهای دفنی موجود در ترانشه
- گام سوم: خارج نمودن خاک درون ترانشه ها که به منظور تولید دیواره استفاده شده است.
- **مرحله دوم (۱۹۹۳و ۱۹۹۴)**
- گام اول: جمع آوری خاک پوشش رو
- گام دوم: خارج نمودن مواد دفنی داخل ترانشه
- گام سوم: خاکریزی و پر کردن محل دفن به منظور به دست آوردن یک زمین مسطح

جدول۴- مشخصات مرحله۱

پارامتر	مقدار	
حجم کل مرحله	۷.۱۵۰.۰۰۰ متر مکعب	
حجم خاک پوشش رو	۵۵۰.۰۰۰ متر مکعب	
حجم کل زباله دفنی	۳.۰۷۸.۲۶۱ متر مکعب	آلی: ۲.۰۸۷.۰۶۱ متر مکعب
		خشک: ۹۹۱.۲۰۰ متر مکعب
حجم خاک درونی	۳.۵۲۱.۷۳۹ متر مکعب	
وزن زباله دفنی	۳.۵۴۰.۰۰۰ تن	آلی: ۲.۴۰۰.۰۰۰ تن
		خشک: ۱.۱۳۹.۸۸۰تن

جدول۵- مشخصات مرحله۲

پارامتر	مقدار	
حجم کل مرحله	۷.۱۵۰.۰۰۰ متر مکعب	
حجم خاک پوشش رو	۱۶۵.۰۰۰ متر مکعب	
حجم کل زباله دفنی	۳.۹۶۵.۲۱۷ متر مکعب	آلی: ۲.۶۸۸.۴۱۷متر مکعب
		خشک: ۱.۲۷۶.۸۰۰ متر مکعب
حجم خاک درونی	۳.۰۱۹.۷۸۳ متر مکعب	
وزن زباله دفنی	۴.۵۶۰.۰۰۰ تن	آلی: ۳.۰۹۱.۶۸۰ تن
		خشک: ۱.۴۶۸.۳۲۰تن

بعد از اجرای طرح بازکنی برای فرایند پسماند بازکنی شده می توان چهار سناریو در نظر گرفت.

- سناریوی اول؛ جداسازی، تثبیت، RDF
- سناریوی دوم؛ تثبیت، RDF
- سناریوی سوم؛ جداسازی، تثبیت، بیوفیلتر
- سناریوی چهارم؛ تثبیت، بیوفیلتر

با توجه به مطالب مذکور در تحقیق تلاش بر آن شده تا امکان تبدیل پسماند بازکنی شده به RDF از نظر زیست محیطی، فنی و اجرایی مورد مطالعه قرار گیرد.

معیارهـــای لازم جهـــت تولیـــد RDF در مراکـــز دفـــن قدیمی ایران

بـه منظـور اسـتفاده از مـواد بـازکنی شـده بـرای تولیـد RDF نیـاز بـه شـناخت کیفیـت و کمیـت مـواد دفـن شـده در مکـان دفـن اسـت و همچنـین نیـاز بـه دانـه بنـدی مواد پس از بازکنی برای تولید RDF می باشد.

در بخـش شـناخت کیفیـت و کمیـت مـواد بـه اطلاعـاتی نظیـر ترکیـب پسـماند (قابـل احتـراق، غیـر قابـل احتـراق، پسـماند خطرنـاک)، مشخصـات فیزیکـی (چگـالی، رطوبـت، گـرد و غبـار، ارزش حرارتـی)، فلـزات سـنگین (Mn, Cr, Cd, Pb, Ni, Zn, Cu, Hg) و انـدازه مـواد زائد بازکنی شده نیـاز اسـت(۴). مراحـل اجـرای فراینـد تولیـد به شرح زیر است.

۱- خرد کردن مواد و جداسازی مواد ارزشمند
۲- غربـال مـواد غنـی از انـرژی و مـواد سـنگین کـم انرژی
۳- تفکیـک مـواد سـنگین بـه روش بـادی، رسـوبی یـا روش هـای دیگـر جهـت آمـاده سـازی مـواد غنـی بـرای اسـتفاده حرارتـی و جداسـازی مـواد ارزشمند.
۴- خـرد کـردن مجـدد مـواد غنـی بـه انـدازه هـای کوچک تر.
۵- تولید RDF

روش اجرا

۱- مرحله قبل از خرد کردن مواد

بـرای ایـن منظـور مـی تـوان از انـرژی بـرق سـتفاده نمـود و سـوخت دیـزل نیـز مـی توانـد بـه عنـوان جـایگزین عمل کند. دسـتگاه هـای خـرد کـن در مرحلـه ورود اولیـه بـه دلیـل متفـاوت بـودن ابعـاد مـواد سـرعت کنـدی دارنـد. ایـن تجهیـزات مـواد را بـه انـدازه مطلـوب بـالای ۵۰ میلـی متـر خـرد مـی کنـد و در خروجـی خـط نیـز مـی تـوان آهـن را از آن جدا نمود.

۲- سرند مواد

در انتهای خط خـرد کـن یـک سـرند لرزشـی تعبیـه مـی شـود کـه مـواد معـدنی و خـاک بـا انـدازه کمتـر از ۵۰ میلی متر را جدا می کند.

۳- تفکیک مواد

بـا نصـب فلیترهـای تفکیـک مناسـب بعـد از سـرند لرزشی می توان مـواد مخلـوط را از یکـدیگر جـدا نمـود. مـواد به دو دسته سـبک و سـنگین تقسـیم مـی شـود. مـواد سـبک شامل ورقه ها و کیسـه هـای پلاسـتیکی و پارچـه مـی باشـند و مـواد سـنگین از اجسـام سـخت و حجـیم پلاسـتیک سـنگین، سـنگ، شیشـه، چـوب و فلـزات تشـکیل مـی شـوند. مـواد سـنگین را مـی تـوان در یـک فرآینـد دیگـر تفکیـک کـرده و مـواد بـا ارزش سـوختی را از آن جـدا کـرده مـورد استفاده قرار داد.

۴- مرحله بعد از تفکیک

بـه منظـور تسـهیل در فـرآوری، مـواد بـه ذرات ریـز تـری بـه ابعـاد ۱۸ تـا ۵۰ میلـی متـر تبـدیل مـی گـردد(۱). خرد کردن مواد را می تـوان بـا دسـتگاه هـای مجهـز بـه تیغـه خـرد کـن انجـام داد کـه مـواد در حـین عبـور از سیسـتم توسـط تیغـه هـای در حـال چـرخش بـه قطعـات ریـز خـرد شده و آن قدر در دسـتگاه بـاقی مـی مانـد تـا بتوانـد از غربـال هـا عبـور کنـد. ایـن مـواد را مـی تـوان مسـتقیما بـه عنـوان سوخت استفاده کرد.

تجزیه تحلیل

نتـایج حاصـل از تحقیقـات صـورت گرفتـه بـرروی منطقـه مـورد مطالعـه اطلاعـات زیـر را در مـورد شـرایط پسـماند دفـن شـده پـس از دفـن در اختیـار مـا مـی گـذارد (جـدول ۶) کـه بـا اسـتانداردهای کشـورهای ایتالیـا، اتحادیـه اروپا، آلمان و تایلند به شرح جدول ۸ مقایسه شده است.

جدول۶- مشخصات شرایط دفنگاه(۷)

پارامتر	مقدار
چگالی پسماند	۱۱۵۰(m^3/kg)
رطوبت	٪۴۸
pH	۶/۷
EC	۳/۳
عمق متوسط هر دوره	۱۳ (m)

ترکیبات مواد قابل احتراق و غیر قابل احتراق پسماندهای دفن شده در محدوده مورد مطالعه نیز به شرح جدول زیر (جدول ۷) می باشد.

جدول ۷-ترکیب مواد دفن شده

	ترکیب	درصد وزنی	
		ایران (۷)	تایلند
قابل احتراق	مجموع پلاستیک	۹/۷	۴۱/۵
	چوب	۱/۷	۹
	پارچه	۳/۴	۱۰
	لاستیک	۰/۷	۱
	کاغذ	۸/۱	۰/۷
	فوم	۰/۶	۱
	مواد آلی بدون رطوبت★	--	۱
غیر قابل احتراق	سنگ	--	۰/۹
	شیشه	۲/۴	۱/۸
	فلز	۱/۸	۳
	خاک★★	-	-

★ مواد آلی در زمان دفن درصد وزنی معادل ٪۶۷/۸ داشته اما اطلاعاتی در مورد شرایط پس از دفن در دست نمی باشد.

★★ با توجه به میزان وزنی محاسبه شده خاک موجود در مکان دفن مورد مطالعه تقریباً نیمی از حجم مکان دفن را خاک تشکیل می دهد.

محاسبه ارزش حرارتی پسماند بازکنی شده

برای محدوده مطالعاتی ارزش حرارتی برای مواد آلی ۱/۴ Mj/kg و برای مجموع مواد ۱۰/۴ Mj/kg محاسبه شده است.

جدول ۸- مقایسه استانداردهای موجود با وضعیت محدوده مورد مطالعه

عوامل	استاندارد RDF					
	ایتالیا	آلمان	اتحادیه اروپا	تایلند(۴)	استاندارد جهانی(۹)	کهریزک منطقه حسین آبادĖ
چگالی	-	-	-	۸۸۰	۴۱۲- ۲۲۵	۱۱۵۰
رطوبت (درصد)	۲۵	-	-	۴۷	۵۹/۵- ۲۸/۶	۴۸
گرد و غبار (درصد)	۲۰	-	-	۵۹	۷۹/۹- ۳۶/۵	-
ارزش حرارتی (kg/Mj)	۱۵	-	-	۲۹	۴۰/۴- ۲۰/۲	۱۰/۴
Mn (kg/mg)	۴۰۰	۹۴	۲۰۰	۲۱۵/۲	۳۵۳- ۱۰۰	۳۹۹/۵
Cr (kg/mg)	۱۰۰	۱۲۶	۲۰۰	۸۷/۵	۱۸۶- ۷۵/۵	۸۰/۸
Cd (kg/mg)	-	۰/۳۷	۱۰	۵/۵	۳۸- ۰/۹	۴/۱
Pb (kg/mg)	۲۰۰	۸۳	۲۰۰	۴۷/۸	۱۲۷- ۱۳/۲	۳۵۰/۶
Ni (kg/mg)	۴۰	۲۰/۴	۲۰۰	۴۸/۵	۹۴- ۲۴/۲	۹۳/۷
Zn (kg/mg)	۵۰۰	۱۵۴	۵۰۰	۴۵۸/۵	۵۸۶/۵- ۲۷۵/۴	۹۲۵/۶
Cu (kg/mg)	۳۰۰	۱۳۵	۲۰۰	۲۵۴	۵۴۴/۶- ۱۱۸/۸	۷۸۵/۶
Hg(kg/mg)	-	۰/۱۷	۲	۰/۴	۰/۵- ۰/۲	-

★ داده های فلزات سنگین منطقه مورد مطالعه بر گرفته از منبع ۸ می باشد.

جمع بندی

- اختلاف آشکار چگالی منطقه مورد مطالعه با چگالی مراکز دفن در سایر نقاط دنیا نشان می دهد حجم خاک وارد شده در مکان دفن چه به عنوان پوشش و چه به عنوان نخاله ساختمانی بسیار بالاست و همین امر لزوم بازکنی منطقه و احیای خاک را تقویت می کند.
- با توجه به حجم بالای زباله تر به هنگام دفن و بالا بودن سطح شیرابه و نبود پوشش مناسب، ارزش حرارتی زباله این منطقه پایین است و همین امر نیاز به مطالعه دقیق تر بر روی ارزش حرارتی پسماند در ایران را برجسته تر می نماید.
- از آن جا که فلزات سنگین داخل پسماندها در آستانه استانداردهای جهانی است، لذا به منظور تهیه RDF از پسماند باز کنی شده حتماً می‌بایست درصد فلزات سنگین در تمام طول فرآیند کنترل شده و غلظت آن با روش های علمی و توجیه پذیر کاهش یابد.
- با توجه به پایین بودن ارزش حرارتی، بهتر است پسماند بازکنی شده با زباله تازه در پروسه تولید RDF مخلوط شود که این امر می تواند باعث بالا رفتن ارزش حرارتی RDF تولیدی شود.

منابع

1. Nelson, H., 1994, a review of landfill mining projects explains why they were started, how they performed, and what the future may hold for reclamation. Bio Cycle, Oct 1994.
2. Morelli, J. 1993. Town of Edinburg Landfill Reclamation Demonstration Project: Report Supplement. Doc. 93-7.

New York State Energy Research and Development Authority, Albany, NY.

3. Forster, G. 1994. Assessment of Landfill Mining and the Effects of Age on Combustion of Recovered Municipal Solid Waste. Landfill Reclamation Conference, Lancaster, PA.
4. Prechthai. Tawach, Visvanathan. Chettiyappan, 2006, RDF Production Potential of Municipal Solid Waste, Environmental Engineering and Management Program Asian Institute of Technology, Thailand.

۵. هراتی. امیر ناصر، عبداله زاده. رضا، جمشیدی. رضا، ۱۳۸۵، مطالعات امکان سنجی و برآورد زیست محیطی و اقتصادی بازکنی مراکز دفن زباله ایران، همایش مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران.

6. Amir N. Harati, R. J. Jamshidi, A. Abdollahi Nasab, Landfill Gas Extraction Potential from Conventional Landfills-Case study of Kahrizak Landfill (Sardinia - 2007)

۷. سایت سازمان بازیافت و تبدیل مواد شهرداری تهران

۸. حسین زاده. حمیده، ۱۳۸۵، تحلیل کیفیت کمپوست زباله شهری تهران از نظر میزان فلزات سنگین در مقایسه با سایر کشورها، پایان نامه کارشناسی ارشد.

9. U.S. Environmental protection Agency.1997. Solid Waste & Emergency Response. Landfill Reclamation. EPA 530-F-97-001

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره سیزدهم، شماره یک، بهار ۹۰

بررسی چگونگی تاثیرگذاری پلان معماری بادگیرها در کاهش دمای محیط

مهناز محمودی [۱] *

سید مجید مفیدی [۲]

تاریخ دریافت:۸۷/۲/۱۵ **تاریخ پذیرش:۸۷/۴/۳۰**

چکیده

بادگیرها از عناصر تاریخی معماری ایران می باشند که ابداعی مهم در معماری بومی تلقی می شوند. این عناصر که با رویکرد اقلیمی طراحی گردیده اند، به عنوان یک سیستم سرمایش ایستا شناخته شده اند و تهویه مطبوع را با بهره‌گیری از انرژی تجدیدپذیر باد فراهم می آورند.

این تحقیق با هدف بررسی بادگیرهای اقلیم گرم و خشک انجام گرفته و شهر یزد به عنوان شهر مطالعه موردی برگزیده شده است. بادگیرهای یزد با فرم های متفاوتی دیده شده اند و این تحقیق نشان می‌دهد که ویژگی های شکلی آن هـا نقش مهمـی در عملکرد شان ایفا می‌کند.

مطالعه با بررسی های میدانی انجام گرفته و نمونه های انتخابی که ۵۴ نمونه بوده، به صورت تصادفی در ۵ محله شهر یزد انتخاب شده است. روش تحقیق توصیفی- تحلیلی است. ارتباط میان معماری و عملکرد بادگیرها برای اولین بار انجام گرفته است و در ابتدا بادگیرهای یزد گونه شناسی گردیده و سپس سرنمون ها برای تحلیل عددی و محاسبه رفتار حرارتی انتخاب شده اند.

این تحقیق با بهره گیری از علم دینامیک سیالات محاسباتی و استفاده از نرم افزار فلوئنت و تحلیل عددی انجام گرفته است. خانه رسولیان به عنوان نمونه موردی در نرم افزار مدل سازی گردیده و سپس سه نمونه پلان بادگیر در این خانه مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج حاصل حاکی از تفاوت نتایج دما و رطوبت در این سه مدل بود. پس از انجام محاسبات پلان برتر به لحاظ کارکرد رفتار حرارتی و تاثیرگذاری بر آسایش حرارتی مشخص گردیده است.

واژه های کلیدی: بادگیر، اقلیم گرم و خشک، تهویه طبیعی، نرم افزار فلوئنت.

۱- استادیار گروه معماری، دانشکده عمران و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین (مسئول مکاتبات).

۲- استادیار گروه معماری و شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت ایران.

مقدمه

بادگیر همان گونه که از نام آن پیداست جزیی از کالبد ساختمان های مناطق گرم و خشک و یا گرم و مرطوب ایران به شمار می رود که با هدایت جریان باد و بهره‌گیری از انرژی پاک طبیعت، در تعدیل دما و رسانیدن دمای فضای سکونتی به دمای در حد آسایش انسان نقش مؤثری داشته‌است.

در این مقاله سعی شده تا با بررسی معماری بادگیرها و شناخت کالبدی آن ها چگونگی تأثیر کالبد بر عملکرد آن ها معلوم گردد. شهر یزد به عنوان یکی از شهرهای اقلیم گرم و خشک ایران که بیشترین تعداد بادگیر را داشته و به عنوان شهر بادگیرها معروف است، به عنوان شهر مورد مطالعه انتخاب گردیده است.

بادگیرهای شهر یزد بسیار متنوع می باشند و هیچ دو بادگیری وجود ندارد که دقیقاً مانند هم طراحی شده باشند. بادگیرهایی که توسط یک معمار ساخته می شوند نیز تنها در تزئینات دهانه های ورودی باد یکسان بودند که این تزئینات به نوعی امضاء معمار محسوب می شده اند. هر ساختمان مسکونی در یزد با توجه به پلان معماری بنا، موقعیت آن و همچنین جهت قرار گیری نسبت به جهت باد غالب شهر بادگیری متفاوت دارد. ایده معمار نیز در طرح بادگیرها موثر بوده و تفاوتهایی را موجب می شده است. با توجه به تفاوت و تنوع بادگیرهای یزد گونه شناسی متفاوت بادگیرها در پلان و دسته‌بندی آن ها اولین گام در عرصه شناخت است و پس از آن با استفاده از نرم افزار فلوئنت و علم CFD (Computational fluid dynamics) سرنمون ها تحلیل رفتار حرارتی گردیده و مشخص می‌گردد که کدام بادگیرها با چه مشخصات و ویژگی های معماری در پلان بهترین نتیجه را جهت کاهش دمای هوا به دست می‌داده‌اند.

روش تحقیق

در بخشی که گونه شناسی بادگیرها به انجام رسیده روش کار توصیفی است. قسمتی که به بررسی رفتار حرارتی بادگیر بر مبنای تناسبات کالبدی آن ها با استفاده از نرم افزار فلوئنت می پردازد؛ روش تحلیلی است. روشی که در روند تحقیق بکار می رود:

مشاهده ⇦ مقایسه ⇦ تحلیل ⇦ استنتاج ⇦ کشف

روش کسب اطلاعات بر مبنای مطالعات کتابخانه ای و برداشت های میدانی می باشد. روش نمونه‌گیری، خوشه‌ای تصادفی متناسب است که از هر محله یزد با توجه به تعداد بادگیر آن محله درصدی از تعداد کل مورد بررسی دقیق قرار می‌گیرد و نمونه‌ها کاملاً تصادفی انتخاب شده است.

گونه شناسی بادگیرهای یزد

- گونه شناسی بادگیرهای یزد بر مبنای استقرار در پلان

تفاوت نحوه استقرار بادگیرها در پلان خانه به طراحی پلان مربوط می‌شده است. اما احتمالاً تأثیراتی نیز بر عملکرد سرمایشی بادگیر دارد. اجزای اصلی خانه ایرانی که مرتبط با بادگیر است، عبارتند از حیاط مرکزی و تالار

تالار معمولاً به طور مستقیم با بادگیر در ارتباط است، اما گاهی این ارتباط با واسطه فضایی دیگر صورت می گیرد. به لحاظ موقعیت قرارگیری بادگیرها در منازل و ارتباط آن با فضاهای اصلی بخش تابستان‌نشین و حیاط می‌توان آن ها را به سه‌گونه تقسیم‌بندی نمود(۱) (تصویر ۱)

۱. قرارگیری بادگیر در پشت تالار و در محور تقارن آن. در این گونه، محور تقارن بادگیر و تالار و حیاط در امتداد یکدیگر می‌باشند.
۲. قرارگیری بادگیر در گوشه حیاط. در این گونه، بادگیر با واسطه فضای حوضخانه به تالار متصل می‌شود و در ارتباط مستقیم با آن نیست.
۳. قرارگیری بادگیر در یکی ازگوشه‌های شمالی تالار.

تصویر ۱- نمونه پلان هایی از خانه های یزد(ماخذ: گنجنامه خانه های یزد)

گونه شناسی بادگیرها در پلان

تنوع پلان بادگیرها در شهر یزد در خاورمیانه بی نظیر است که نشان از نبوغ و خلاقیت معماران یزدی دارد. به طور کل در ایران بادگیر با پلان دایره، شش ضلعی، هشت ضلعی، مربع، مستطیل دیده شده است. با فرم مثلث بادگیر در هیچ کجای خاورمیانه شناخته شده نیست(۲). بادگیر با پلان دایره‌ای شکل، نوع بسیار نادر آن در ایران است. در شهر یزد بادگیر با پلان دایره‌ای وجود ندارد. تنها یک نمونه در اطراف یزد دیده شده است.

به جز فرم‌کلی پلان بادگیرها، بادگیرها در فرم تیغه‌های داخلی نیز متفاوتند. تیغه‌ها عناصری متشکل از خشت و آجر می‌باشند که کانال بادگیر را به چند کانال کوچک تر تقسیم می‌کنند. این تیغه‌ها را می‌توان به دو دسته تقسیم بندی کرد، تیغه‌های اصلی و تیغه‌های فرعی. تیغه‌های اصلی از ارتفاع ۲/۲۰ – ۱/۵ متری کف طبقه همکف شروع شده و تا سقف بادگیر ادامه می‌یابند وکانال بادگیر را به کانال های کوچک تر تقسیم می‌کنند(۳).

تیغه‌های اصلی بیشتر نقش کارکردی داشته و در عملکرد بادگیر تأثیرگذارند. اما تیغه‌های فرعی در دهانه ورودی بادگیر قرار می‌گیرند و نقش کارکردی جزئی بر آن ها مترتب است. و همانند پره‌های دریچه‌های کولر امروزی هستند. این تیغه‌ها بیشتر نقش زیبایی شناختی دارند. تیغه‌های اصلی در نمای بیرونی خود را نشان نمی‌دهند اما تیغه‌های فرعی در نمای بادگیر و سیما و منظر شهری تأثیرگذارند.

تیغه‌های داخلی تا ارتفاع ۱/۵ تا ۲/۵ متری بالاتر از کف اتاق نشیمن پایین می‌آیند. معماران محلی تا اندازه‌ای این تیغه ها را پایین می‌آورند تا فضای زیر آن قابل استفاده باشد. برای آب انبارها معماران محلی پیشنهاد می‌دهند که تیغه ها تا ۱ متر زیر منفذها بیشتر پایین نیایند تیغه‌ها با کاهش دادن سطح مقطع های عبوری جریان هوا، سرعت آن را افـــزایش می دهند(۴).

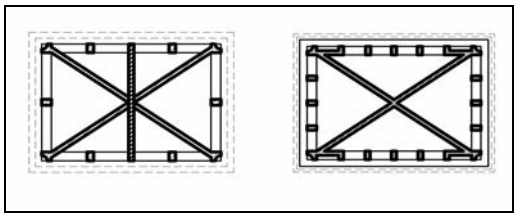
با توجه به فرم هندسی پلان و نحوه قرارگیری تیغه‌ها می‌توان بادگیرها را گونه شناسی کرد. در این مقاله با توجه به هدف نهایی که بررسی معماری پلان بادگیرها بر رفتـــار حرارتی می باشد، به گونه شناسی بادگیرهای با پلان مستطیل شکل اشاره می شود که رایج ترین نوع پلان بادگیر در شهر یزد می باشد و ۸۸/۶٪ آن را شامل می شود.

گونه شناسی بادگیرهای با پلان مستطیل

این گونه رایج‌ترین گونه بادگیر می‌باشد و از میان ۵۳ بادگیر مورد بررسی ۴۷ بادگیر با پلان مستطیل شکل ساخته شده بودند. تنوع تیغه‌های اصلی تشکیل دهنده بادگیر نیز پلان با فرم مستطیل گونه‌های متفاوتی را به وجود آورده است.

الف: بادگیر با تیغه های × شکل

این گونه به تعداد بسیار کم و شاید انگشت شـمار در یـزد وجود دارد. طول بادگیر در این نـوع تقریباً ۱/۵ برابر عرض آن می‌باشد. تنها دو خانه از ۵۳ خانه مورد مطالعه بادگیر با پلان مستطیل و تیغه × دیده شده است (تصویر ۲).



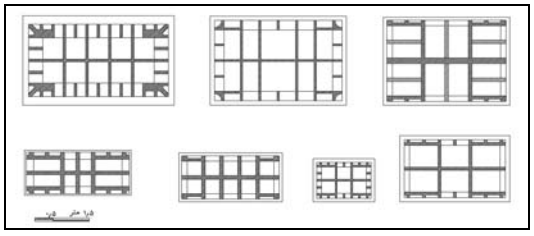
تصویر ۲- نمونه پلان هایی از بادگیرهای با تیغه ضربدری(ماخذ: نگارنده)

ب: بادگیر با تیغه های + شکل

بادگیر با تیغه‌های عمود بر هم + شکل، این گونه رایج‌ترین گونه بادگیر در یزد می‌باشد و با تناسبات متفاوت و متنوعی دیده شده است. عمق کانال در جبهه طولی تا $\frac{۱}{۲}$عمق عرضی بادگیر می‌باشد و عمق کانال در جبهه عرضی بسته به طول بادگیر و تعداد و فرم تیغه های تفکیک کننده از $\frac{۱}{۳}$ تا $\frac{۱}{۶}$عمق طولی بادگیر متغیر است. این گونه را می‌توان به دو زیر مجموعه دیگر تفکیک کرد.

ب-۱: بادگیرهای با کانال های مساوی

در این گونه تیغه‌ها به فاصله‌های مساوی در پلان قرار گرفته‌اند و در نتیجه کانال های کوچک به وجود آمده همگی برابر هستند (تصویر ۳). این نوع از بادگیر رایج‌ترین نوع پلان بادگیر در یزد است. تناسبات پلان (طول به عرض) در این نوع از ۱ به ۱/۴ تا ۱ به ۲/۲۵ متغیر است.

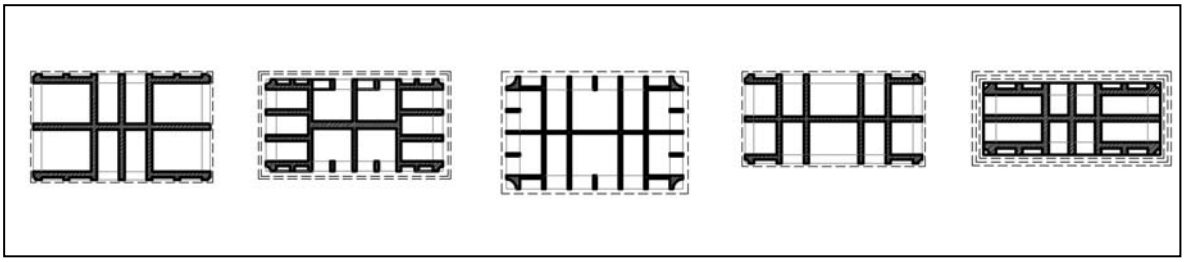


تصویر۳- نمونه پلان های با تیغه هـــای + شکل و با کانال های متفاوت (ماخذ: نگارنده)

ب-۲: بادگیرهای با کانال های متفاوت

کشیدگی پلان در این گونه بیشتر به چشم می خورد. تناسبات پلان طبق بررسی های میدانی از ۱ به ۱/۵۸ تا ۱ به ۲/۹۲ متغیر است. در نمونه هایی که کانال های جبهه عرضی بادگیر بزرگ ترند، عرض پلان مستطیل در مواجهه با بادهای غالب است. در این نمونه ها به خاطر فرم پلان خانه معمار نمی توانسته است بادگیر را از جبهه طولی در معرض باد غالب شمال غربی قرار دهد و لذا معمار با تغییر فرم پلان بادگیر دریافت باد

بیشتری را از جبهه عرضی نسبت به جبهه طولی فراهم آورده است(تصویر۴).

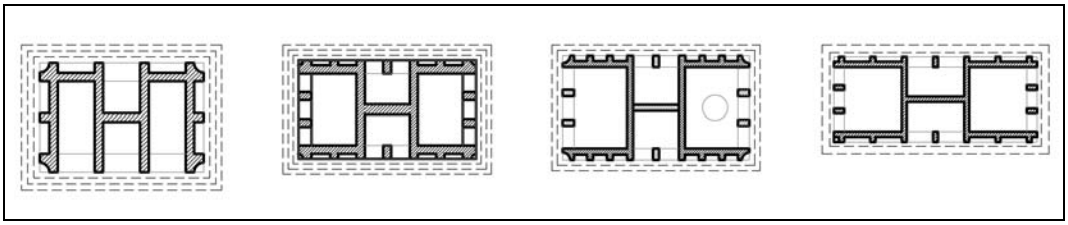


تصویر۴- نمونه پلان های با تیغه های + شکل و با کانال های متفاوت(ماخذ: نگارنده)

ج: بادگیر با تیغه‌های H شکل

در این گونه بادگیرها پلان بادگیر به گونه‌ای طراحی شده که تیغه اصلی بادگیر که از عرض، کانال بادگیر را تفکیک می‌کند، تنها در مرکز کانال وجود دارد و به دیواره‌های عرضی بادگیر نمی‌رسد. تناسبات پلان این گونه به مربع نزدیک می‌شود و پلان با مستطیل کشیده دیده نمی‌شود. تناسبات پلان ۱ به ۱/۳ و کمتر است.

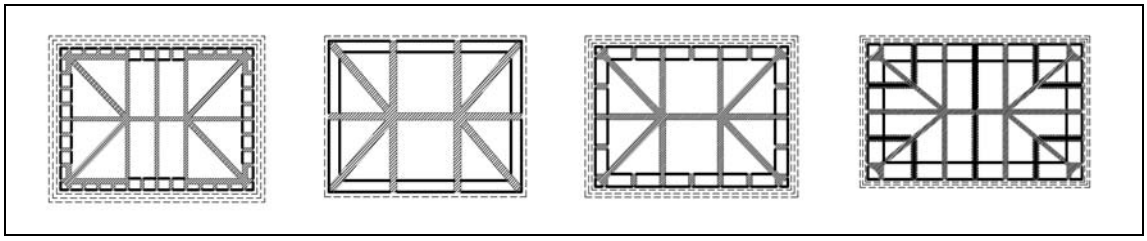
این گونه نیز کمتر در یزد دیده شده است و چهار بادگیر از بادگیرهای بررسی شده، با این فرم پلان مشاهده شده‌اند.در این‌گونه نیز سطح مقطع کانال هایی که در جبهه عرضی قرار دارند بزرگ تر از کانال هایی است که از جبهه طولی باد را دریافت می‌کنند(تصویر۵).



تصویر۵-نمونه پلان های با تیغه H شکل(ماخذ: نگارنده)

د: بادگیر با تیغه‌های K شکل

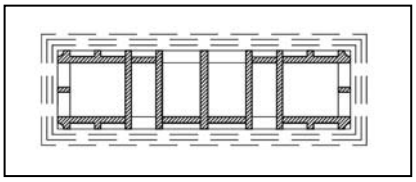
این گونه طراحی پلان در واقع ترکیبی از پلان با تیغه ضربدری و + شکل است. این نمونه نیز کمتر در معماری مسکونی دیده شده است. نمونه پلان های برداشت شده از این گونه در تصویر ارایه شده است.



تصویر ۶- نمونه پلان های با تیغه K شکل (ماخذ: نگارنده)

ه : بادگیر با تیغه‌های I شکل

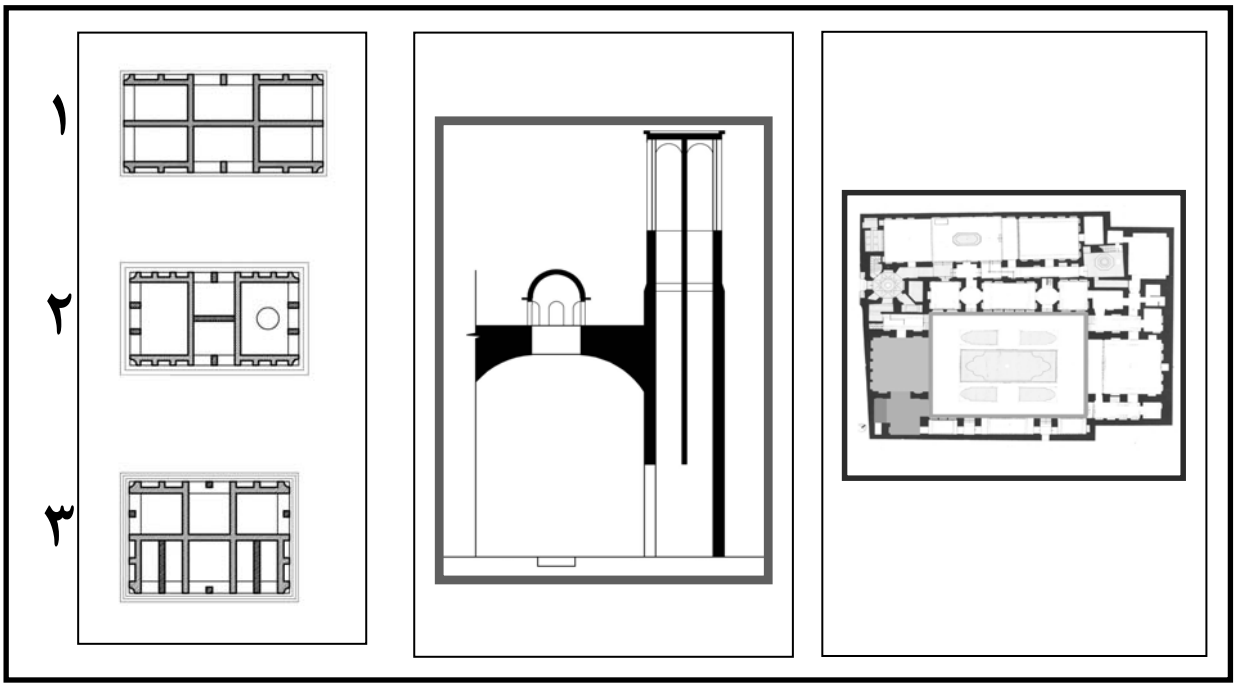
تیغه اصلی در عرض بادگیر دیده نمی‌شود و در مقابل هر منفذ باز در جبهه طولی، یک منفذ بسته در ضلع مقابل وجود دارد تا مانع فرار باد شود. چرا که در غیر این صورت باد با عبور از یک منفذ از سمت مقابل خارج می‌شد(۵). این بادگیر کشیده ترین پلان مستطیل شکل در یزد است که تناسب پلان آن ۱ به ۳/۷۵ می باشد. تنها یک نمونه از ۵۳ نمونه موردی به این صورت طراحی شده است(تصویر۷).



تصویر۷- نمونه پلان با تیغه I شکل(ماخذ: نگارنده)

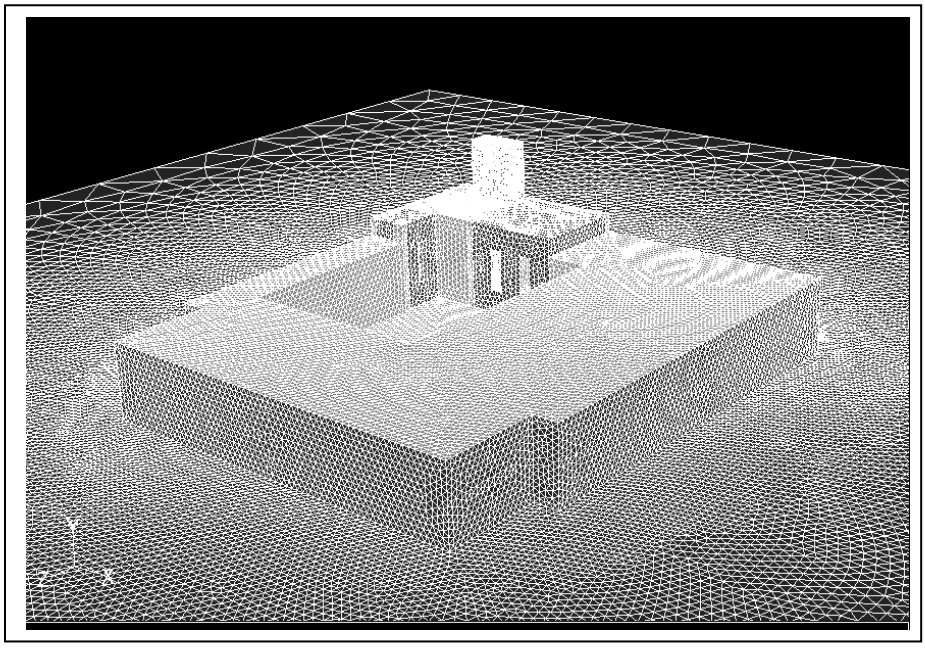
معیارهای انتخاب نمونه ها برای تحلیل رفتار حرارتی

با توجه به اهمیت نحوه استقرار بادگیر در پلان، از بین سه گونه، نمونه خانه تیپ ۱ که تنها گونه ای بوده که در زیر بادگیر حوض آب وجود داشته و سرمایش تبخیری انجام می‌گرفته است، انتخاب گردید و خانه رسولیان به عنوان نمونه موردی برگزیده شد که خانه ای با ارزش تاریخی- معماری است و بادگیر این خانه در برداشت های میدانی این تحقیق رلوه شده بود. با توجه به انواع مختلف فرم تیغه های داخلی بادگیرهای با فرم پلان مستطیل، سه نمونه غالب پلان با ابعاد یکسان که فقط در فرم تیغه های داخلی متفاوت بودند مدل سازی رایانه ای گردیده و رفتار حرارتی آن ها مورد بررسی قرار گرفت(تصویر ۸).

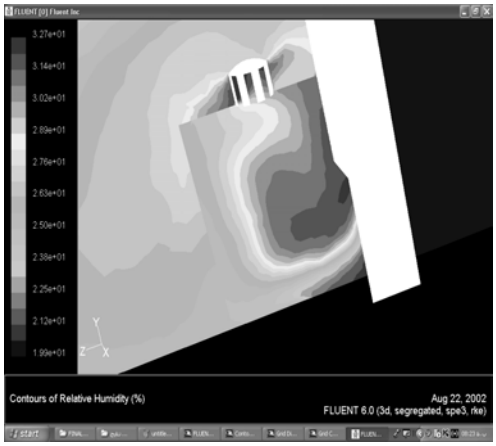


تصویر ۸- نمونه های انتخابی برای تحلیل فلوئنت(ماخذ: نگارنده)

جهت دست یابی به رفتار جریان هوای عبوری از بادگیرها، هندسه بادگیر و ساختمان با استفاده از نقشه‌های موجود در نرم‌افزارگامبیت مدل سازی گردید. در شکل۹ ایزومتریک مدل ارایه شده است.

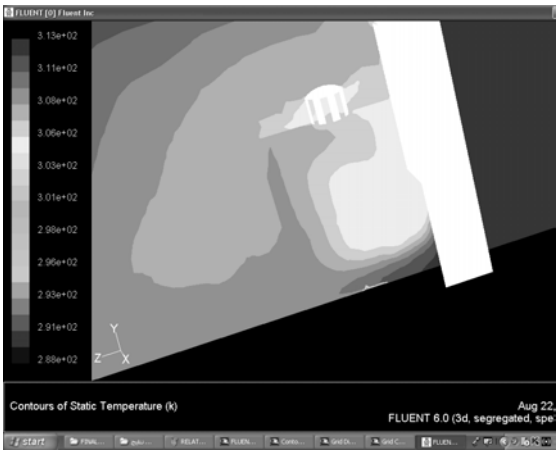


تصویر ۹- مدل سازی خانه رسولیان در نرم افزار



تصویر ۱۰- کانتور رطوبت نسبی در مقطع، مدل ۱

(ماخذ: نگارنده)

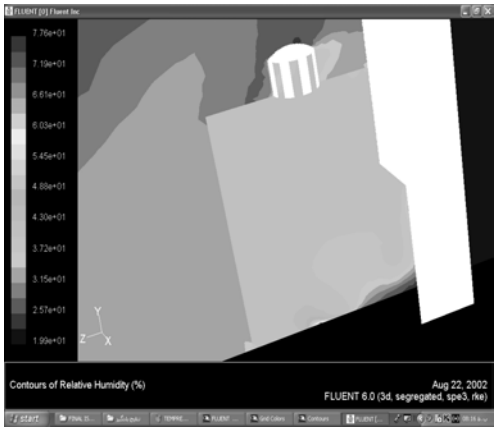


تصویر ۱۱- کانتور دمای استاتیک در مقطع، مدل ۱

(ماخذ: نگارنده)

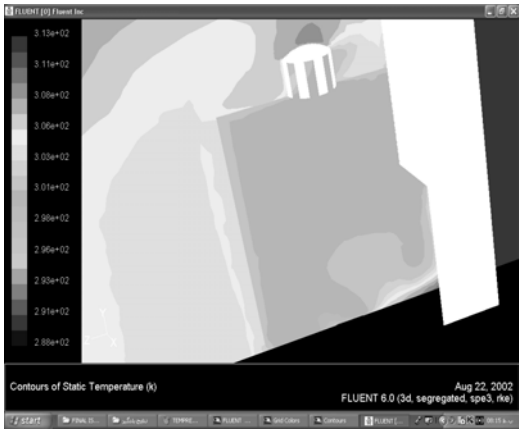
برای تحلیل میدان جریان نیاز به اعمال شرایط مرزی در نرم افزار بوده است و شرایط مرزی اعم از سرعت جریان ورودی و فشار خروجی با توجه به عوامل زیر انتخاب شده است: وضعیت پراکندگی ساختمان های موجود، که طراحی UBC (Uniform building code) شرایط آب و هوایی منطقه یزد (از قبیل دما، رطوبت نسبی و سرعت باد).

مرزهای ورودی و خروجی به اندازه کافی دور از ساختمانی در نظر گرفته شده اند تا اثرات یکنواختی جریان حفظ گردد.



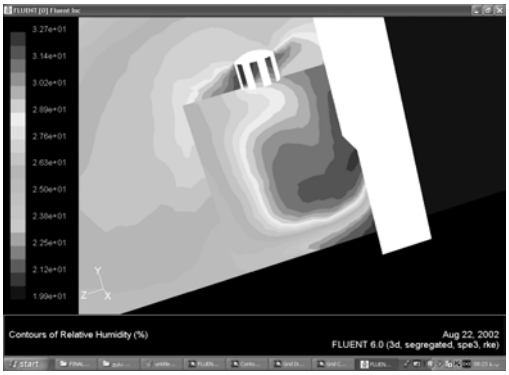
تصویر ۱۲- کانتور رطوبت نسبی در مقطع، مدل ۲

(ماخذ: نگارنده)



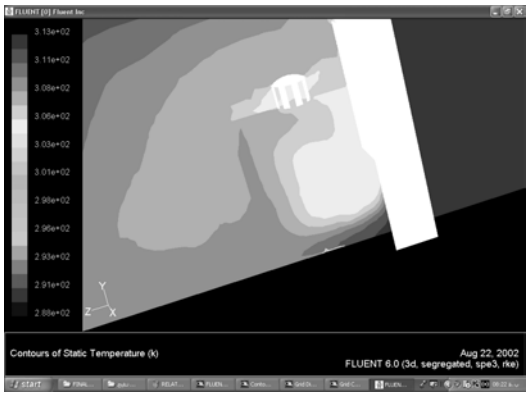
تصویر۱۳- کانتور دمای استاتیک در مقطع، مدل ۲

(ماخذ: نگارنده)



تصویر ۱۴- کانتور رطوبت نسبی در مقطع، مدل ۳

(ماخذ: نگارنده)



تصویر۱۵- کانتور دمای استاتیک در مقطع، مدل ۳

(ماخذ: نگارنده)

نتیجه گیری

در ۳ مدل منتخب، سه بادگیر متفاوت در خانه رسولیان مورد بررسی قرار گرفتند و علی رغم یکسان بودن پلان خانه و نحوه استقرار در خانه و یکسان بودن مقطع و ارتفاع و سطح مقطع، دیده شد که نتایج متفاوتی حاصل آمد. در این سه مدل تنها تیغه های اصلی بادگیر ها متفاوت می باشد و بنابراین این نتیجه می‌تواند به دست آید که معماری و فرم تیغه بادگیرها در رفتار حرارتی آن نقش دارد. چون تیغه های اصلی تا مرکز برج ادامه می‌یابند و کانال بادگیر را به کانال های کوچک تر تقسیم می‌کنند، لذا در هنگام وزش باد، کانالی که رو به سمت وزش باد دارد و دریافت کننده باد است، اصطلاحاً بادخور نامیده می‌شود و کانال های دیگری که باد به سمت آن ها نمی وزد نقش بادخان را خواهند داشت و طبق اثر دودکشی (جا به جایی هوا در اثر همرفت) هوای گرم پایین را به بالای آن منتقل می‌کنند. با توجه به اثر برنولی که سرعت سیال با گذر از مقاطع جریان های مختلف، متفاوت عمل می کند و هر چه سطح مقطع کوچک تر باشد سرعت جریان بیشتر می شود، لذا تفاوت در تیغه ها تفاوت در سرعت جریان را به دنبال خواهد داشت و از میان ۳ مدل، بادگیربا تیغه + شکل بهترین جواب را خواهد داد.

پارامترهای موثر بر شرایط آسایش	مدل ۱	مدل ۲	مدل ۳
افت دما از ۴۰ درجه	۲۹/۳	۳۰/۸	۳۲/۲
افزایش رطوبت از ۱۷٪	٪۳۶/۷	٪۳۴/۱۵	٪۳۲/۹

منابع

۱. محمودی، م. ۱۳۸۶. «بادگیر جذابیت سیما و منظر شهر یزد». فصلنامه باغ نظر. شماره۵. ص ص ۹۷-۹۸.

2. Mahyari, A. 1996."The wind catcher". Ph.D thises. Sydney University. Australia. P 57.

۳. محمودی، م. مفیدی، م. ۱۳۸۱. «تاثیر اقلیم بر کالبد بادگیرهای یزد و بندر لنگه»، مجموعه مقالات سومین همایش بهینه سازی مصرف سوخت. تهران . ص ۲۳۸.

4. Roaf, S. 1988. "The wind catcher of Yazd". Ph.D thesis, Department of architecture, Oxford polytechnic.

۵. محمودی، م. ۱۳۸۶. «شناخت تاثیر مشخصات کالبدی بادگیرها بر رفتار حرارتی». رساله دکتری معماری. دانشگاه علوم و تحقیقات. تهران . ص ۲۰۰.