

بررسی فاکتورهای میکروکلیمائی مؤثر در حرارت شهر

REVIEW OF THE EFFECTIVE MICROCLIMATOLOGICAL FACTORS ON URBAN TEMPERATURE

Dr. Saeed Jahanbakhsh

Assistant Professor Dept. of Geography Tabriz University

In this paper the relationship between the Urban temperature and human population, Urban construction and Urban land use are discussed. The results are summarized as follows:

1 - The population number or density represents the exhaustive heat flux caused by the production or consumption activities namely the anthropogenic heat.

2 - The districts with high density of «tall buildings» are apt to present the higher temperature.

3 - The more the area of unpermeable surface the higher the air temperature would be.

4 - The Urban River Systems has a positive effect on moderating urban temperature from the view point of heat balance.

۱- پیشگفتار

نواحی شهری درمقایسه با حوزه‌های روستایی دارای آب و هوای ویژه‌ای هستند. مرکز یک شهر نسبت به مناطق اطراف خود دارای درجه حرارتهای بالاتری است که آن را «درجه حرارت شهر»^۱ می‌نامند. با رسم نقشه توزیع حرارت در یک شهر متوجه خواهیم شد که خطوط همدمای شهری همانند خطوط همدمای یک جزیره می‌باشد و از این نظر آن را «جزیره حرارتی»^۲ می‌نامند.

با توجه به این که فاکتورهای متعددی در افزایش درجه حرارت نواحی شهری نسبت به نواحی روستایی دخالت دارند، لذا جزیره حرارتی دارای بیلان نسبتاً پیچیده‌ای است. در این راستا توضیح فاکتورها یا مکانیزمهای مربوط به حرارت «آنتروپوژنیز»^۳ (گرم شدن محیط به وسیله حرارت حاصله از متابولیسم بدن) بویژه به طور کمی امری بسیار مشکل است ولی علی‌رغم وجود این مشکل می‌توان با استفاده از اصول علم میکروکلیماتولوژی به تشریح این فاکتورها به طور کیفی پرداخت.

در این مقاله با تشریح اثر جمعیت و تراکم ساختمانها در حرارت شهر و توضیح رابطه بین درجه حرارت و کاربری شهری، تعدادی از فاکتورهای طبیعی مؤثر در درجه حرارت شهر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. در این نوشته به علت عدم وجود آمار و اطلاعات میکروکلیمایی لازم در مورد شهرهای ایران به ناچار نمونه‌هایی از نتایج تحقیقات انجام یافته در شهرهای ژاپن ارائه شده تا در صورت انجام آزمایشات میکروکلیمایی در شهرهای ایران به عنوان الگویی کاربردی برای تحقیقات بعدی پژوهشگران این رشته مورد استفاده قرار گیرند.

۲- رابطه درجه حرارت شهر و جمعیت انسانی

با توجه به تراکم زیاد جمعیت در شهرها گاهی عامل «درجه حرارت بدن»^۴ به عنوان یکی از عوامل ایجاد کننده حرارت شهری در نظر گرفته می‌شود ولی چون این فاکتور در مقایسه با سایر فاکتورها بسیار ناچیز جلوه می‌کند لذا عموماً آن را قابل حذف می‌دانند، در صورتی که در شهرهای بزرگ سهم درجه حرارت بدن انسانها در ایجاد حرارت شهری بیش از ۱۰٪ است. جهت بررسی این موضوع به تشریح فرمول بیلان حرارتی در سطح بدن انسان می‌پردازیم که به صورت فرمول شماره (۱) ارائه شده است:

$$\text{فرمول شماره (۱): } M \pm S - E \pm C \pm R = 0$$

در فرمول فوق، M مقدار متابولیسم، S مقدار حرارت ذخیره شده در بدن، E مقدار حرارت اتلاف شده توسط تبخیر، C مقدار کاهش یا افزایش حرارت از طریق کنوکسیون و R مقدار کاهش یا افزایش حرارت از طریق تشعشع است. در فرمول شماره (۱) مقادیر E،

C و R به قرار زیر محاسبه می شوند:

$$E = W. \mu. A (Pb - RH. Pa) = 0.45 V^{0.63} (Pb - Pa) \dots\dots\dots (1-1)$$

$$C = Ac. Kc \sqrt{V(\theta b - \theta a)} = 0.5 \sqrt{V.(\theta b - \theta a)} \dots\dots\dots (1-2)$$

$$R = \sigma_{be} A (Tb^4 - Ta^4). A = 5.7 (\theta b - \theta a) \dots\dots\dots (1-3)$$

در فرمولهای (۱-۱) تا (۱-۳) W_e قسمتی از مساحت سطح بدن که کاملاً خیس است، μ ضریب انتقال حرارت توسط تبخیر (برای مقادیر معینی از سرعت و مسیر باد مقداری است ثابت)، A مجموع مساحت سطح بدن، Pb فشار بخار اشباع پوست، RH رطوبت نسبی، Pa فشار بخار اشباع هوا در رابطه با مقدار درجه حرارت آن، Kc ثابت کنوکسیون، θb میانگین درجه حرارت سطح بدن، θa درجه حرارت هوا، V سرعت باد، σ ثابت استفان بولزمن، ea و eb به ترتیب پس تابی سطح بدن و محیط اطراف و در فرمول (۱-۳) θa و θb به ترتیب درجه حرارت مطلق بدن و محیط اطراف می باشند.

نتایج مطالعات انجام یافته نشان می دهند که بر مبنای قانون استفان-بولزمن حدود ۷۰٪ از مقدار حرارت حاصله از متابولیسم به صورت تشعشع از سطح بدن انسان ساطع می شود لذا اگر نسبت $(R+C)$ به مقدار «خورتابی» $(Q+q)$ را با r نشان دهیم می توان نوشت:

$$r = \frac{(R+C). ma. Po}{\frac{1}{4} (Q+q) + Ar} \dots\dots\dots \text{فرمول شماره (۲)}$$

در فرمول فوق ma مساحت سطح بدن انسان، Po تعداد جمعیت و Ar مساحت شهر است. با توجه به فرمول شماره (۲) اگر اندازه و درجه حرارت بدن انسانها از یکدیگر زیاد متفاوت نبوده و شهر تقریباً در یک عرض جغرافیایی واقع شده باشد، نسبت $(R+C). ma$ به $(Q+q)$ مقادیری نزدیک به هم ارائه خواهد داد بنابراین نسبت r متناسب با $\frac{P}{A}$ خواهد بود که همان تراکم جمعیت است.

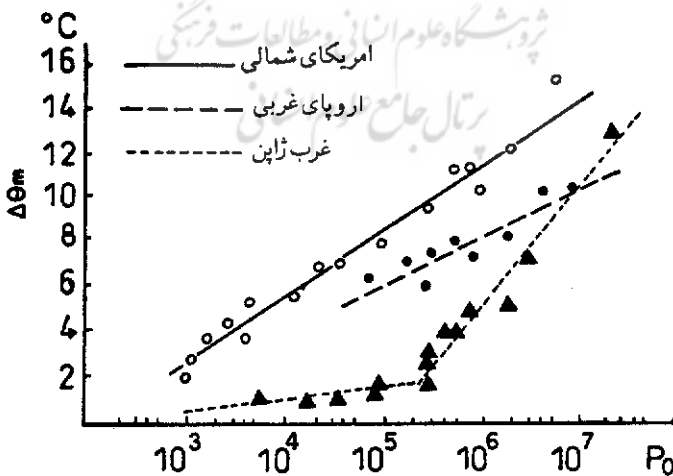
نتایج تحقیقات متعددی که در رابطه با اثر جمعیت در درجه حرارت شهر صورت گرفته است بیانگر این مطلب است که تعداد جمعیت یا تراکم آن با درجه حرارت شهر همبستگی زیادی دارد. واضح است که وجود چنان همبستگی بالایی بدین معنا نیست که جمعیت را

معادل با درجه حرارت بدن انسان بدانیم بلکه جمعیت معادل با تولید یا فعالیت مصرف است. به عبارت دیگر تعداد جمعیت یا تراکم آن ارئه دهنده جریان کامل حرارت ناشی از تولید یا فعالیت مصرف است که همان حرارت آنتروپوژنیز می باشد. این حرارت یکی از فاکتورهای اصلی در تبیین حرارت حاصله در شهر بوده و به صورت دانسیته مصرف انرژی در واحد سطح (cm^2) بیان می شود.

با توجه به مطالب فوق اگر تعداد جمعیت شهر بتواند ارائه دهنده حرارت شهری باشد عامل جمعیت می تواند با درجه حرارت شهر ارتباط نزدیکی داشته باشد که همان اختلاف درجه حرارت مابین مرکز شهر و مناطق روستایی است. یکی از روشهای معمول در مطالعه رابطه جمعیت شهری و اختلاف حداکثر درجه حرارت ($\Delta\theta$) استفاده از فرمول زیر است.

$$\Delta\theta = \alpha \log P_0 - \beta \dots\dots\dots \text{فرمول شماره (۳)}$$

در فرمول فوق α و β مقادیر عددی (به ترتیب بین $1/93$ تا $2/96$ و $4/06$ تا $4/41$) می باشند و P_0 تعداد جمعیت است. لازم به توضیح است که در فرمول فوق زمانی که جمعیت 100 تا 300 نفر باشد مقدار $\Delta\theta$ برابر صفر خواهد بود. در شکل شماره (۱) نتایج مطالعات حاصله با روش فوق برای تعدادی از شهرهای امریکای شمالی، اروپای غربی و غرب ژاپن که در مقیاس لگاریتمی برای محور X ها ترسیم شده نشان داده شده است.



شکل شماره (۱) - رابطه بین جمعیت شهری (P_0) و حداکثر درجه حرارت هوا (C°)

در شهرهای بزرگ ژاپن ($Po > 10^5$) مقدار a نسبت به شهرهای امریکای شمالی بیشتر و در شهرهای کوچکتر ($Po < 10^5$) نسبت به شهرهای اروپای غربی کمتر است. توضیح این که چرا a اختلافات ناحیه ای نشان می دهد، مسأله ای مشکل و درعین حال موضوعی جالب است. دلایلی که می توان برای اختلافات ناحیه ای موجود بیان کرد به سه قسمت تقسیم می شوند:

الف: وجود اختلاف در ساخت شهرها (نه تنها اختلاف ساختمانها و مواد آنها بلکه ساخت خیابانها و نواحی پارکها).

ب: وجود اختلاف در فعالیتهای شهری (اختلاف در وظائف شهرها، مصرف انرژی و غیره).

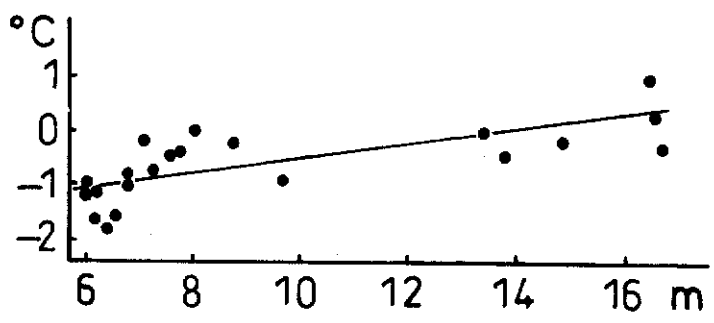
ج: وجود اختلاف در نواحی آب و هوایی (اختلاف در فاکتورهای آب و هوایی از جمله ارتفاع، عرض جغرافیایی، ضریب مساحت سطوح آبی به کل زمینهای شهری و غیره).

۳ - رابطه درجه حرارت شهر و ساختمانهای شهری

در بررسی علل توزیع حرارت در شهرهای بزرگ گفته شده است، زمانی که هوای خنکتر از حومه به طرف شهر می وزد، هوای مجاور زمین تحت فشار حاصله شرایط متلاطمی یافته و پدیده «هدایت چرخشی»^۶ را به وجود می آورد، این پدیده درجه حرارت هوای شهر را با انتقال هوا به طرف بالا افزایش می دهد. واقعیتهای فوق را می توان با فرمول زیر تشریح کرد:

$$\text{فرمول شماره (۴)} \dots\dots\dots \frac{\delta \theta}{\delta t} = \frac{A}{P} \frac{S^2 \theta}{\delta z^2}$$

در فرمول فوق θ ، t ، A ، P و z به ترتیب درجه حرارت، زمان، ضریب تبادل (هدایت چرخشی)، دانسیته هوا و ارتفاع می باشند. اگر بتوان ضریب A را تابعی در رابطه با ارتفاع ساختمانها در نظر گرفت، می بایست به رابطه مابین ارتفاع ساختمانها و درجه حرارت هوا و نیز اثر تراکم منازل در درجه حرارت شهر نیز توجه کنیم. در این زمینه نمونه ای از نتایج تحقیقات انجام یافته برای شهر توکیو در شکل شماره (۲) نشان داده شده است. نتایج تحقیق



شکل شماره ۲ - رابطه میانگین ارتفاع ساختمانها و درجه حرارت هوا در توکیو

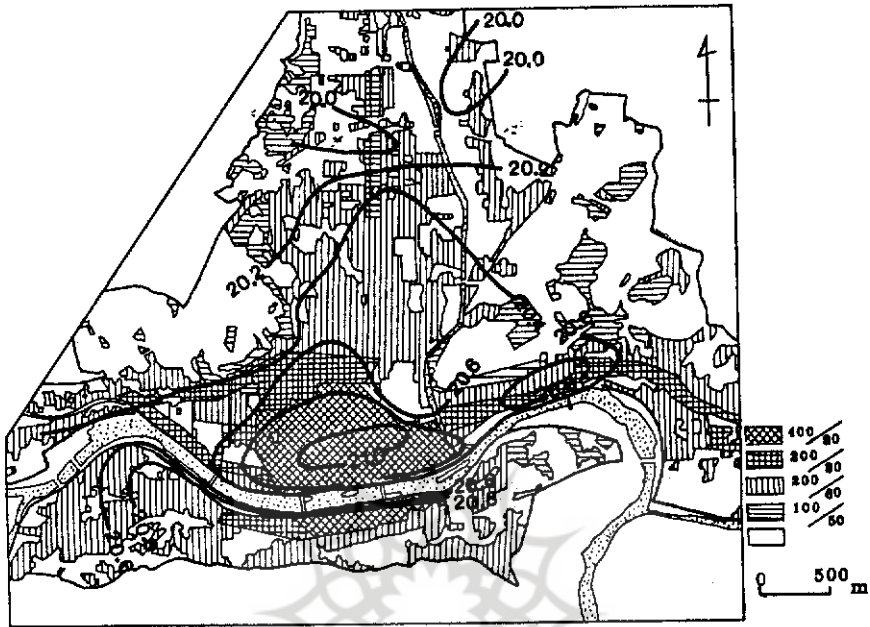
مذکور و سایر تحقیقات دیگر بیانگر اینست که ما با عامل ساختمان به صورت تابعی یک بعدی یعنی فقط عمودی (ارتفاع) یا افقی (تعداد ساختمان در واحد سطح) سروکار خواهیم داشت.

به منظور روشن شدن اثر ساختمان به صورت پدیده ای سه بعدی در توزیع حرارت شهر رسم نقشه های توزیع «نسبت حجمی»^۷ و «نسبت ساختمان به زمین»^۸ جهت مقایسه توزیع درجه حرارت شهر ضروری است. نمونه ای از این نقشه ها در اشکال شماره (۳) و (۴) نشان داده شده اند. هر دو مورد توافق خوبی را برای نمونه های توزیع درجه حرارت شهر و نسبتهای مذکور نشان می دهند.

در تحقیقات مربوط به رابطه بین تراکم ساختمانها و درجه حرارت هوا در تعدادی از شهرهای ژاپن همبستگی خوبی بین آنها مشاهده شده است. بر مبنای این قبیل مطالعات می توان نتیجه گرفت که نواحی با تراکم زیادی از ساختمانهای بلند مستعد ارائه درجه حرارتی بالاتری می باشند، البته نواحی خنک تری نیز در مناطقی با تراکم ساختمانی زیاد یافت می شوند که به نظر می رسد مورد اخیر تحت تاثیر تبخیر یا تبخیر و تعرق از سطوح آبی شهری یا فضا های سبز موجود در منطقه مورد مطالعه به وجود آمده باشد.

7- Volumetric Ratio

8- Bulding- to - Land Ratio



شکل شماره ۴ - نقشه توزیع درجه حرارت هوا و نسبت‌های حجمی و ساختمان به زمین در قسمتهای مختلف شهر چوراما

۴ - رابطه درجه حرارت شهری و کاربری شهر

بیان انرژی سطح یک ناحیه شهری را در ساده‌ترین شکل آن می‌توان به صورت زیر نشان داد.

$$Rn + Qu = C + E + G \quad \dots\dots\dots (۵): \text{فرمول شماره}$$

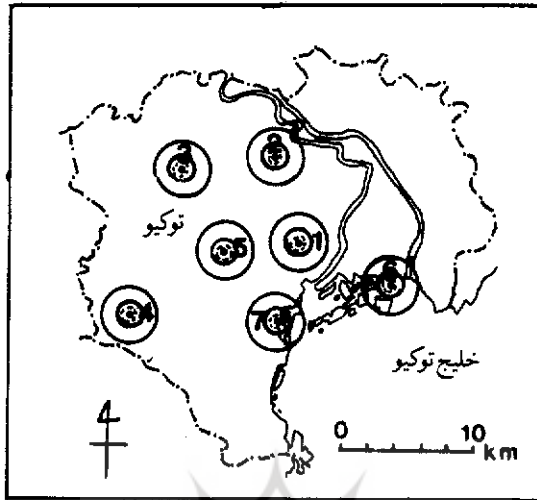
در فرمول فوق Rn تشعشع خالص، Qu حرارت مصنوعی یا حرارت آنتروپوزنیز منتشر شده ناشی از احتراق و متابولیسم، C جریان حرارت محسوس، E جریان حرارت نهان و G جریان حرارت نیمه سطحی (خاک، ساختمان، خیابان، آب و غیره) است. در فرمول فوق اثرات ادوکسیون، انتقال انرژی توسط بارندگی، فتوستنز، ذوب برف و غیره منظور نشده است. لازم به توضیح است که نوع کاربری زمین در یک شهر در Qu ، C ، E و G مؤثر بوده و به نظر می‌رسد که E از طریق کاربری زمین کنترل می‌شود.

به منظور تشخیص و تقسیم بندی انواع کاربری زمینهای شهری از جمله فضای سبز (Gr) (پارکها، کناره های جاده ها و خیابانها و غیره) نواحی صنعتی (I)، آبها (W)، نواحی مسکونی (خانه ها) (H) و نواحی بایر (B) می توان با استفاده از عکسهای هوایی شهرها، هرناحیه ای را به صورت درصدی از کل زمینهای شهری به شکل دوایری با شعاع مشخص ترسیم کرد (مثلاً ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ متر و غیره) البته در مرکز دایره ایستگاهی که درجه حرارت در آن جا اندازه گیری شده است قرار می گیرد. با استفاده از روش فوق فرمول تجربی زیر ارائه شده است.

$$\theta_m = a + bGr + cI + dW + eH + fB \dots\dots\dots (۶) \text{ فرمول شماره}$$

در فرمول فوق θ_m حداکثر درجه حرارت روزانه در تابستان، a, b, c, d, e, f ضرایبی هستند که نسبت به شعاع دایره مذکور و فصل مورد آزمایش تغییر می یابند. تغییر در هریک از ضرایب فوق می تواند نشانگر میزان افزایش یا کاهش در کاربری زمین هر محلی بوده و با تغییر θ_m می توان نحوه و میزان تأثیر کاربری را در حداکثر درجه حرارت روزانه سنجید به طوری که اگر ضرایب هر کدام از کاربریها منفی باشند بدان مفهوم است که θ_m کاهش خواهد یافت و بالعکس اگر ضرایب مثبت باشند θ_m افزایش پیدا خواهد کرد. تغییر ضرایب هریک از کاربریها از مثبت به منفی و بالعکس در رابطه با عوامل جوی و مسیر باد و موقعیت مکانی و وسعت و دوری و نزدیکی آنها از ایستگاه اندازه گیری و یا پراکندگی و تجمع آنها در ناحیه مورد مطالعه می باشد. لازم به یادآوری است که همه این ضرایب نسبی هستند. نمونه ای از مطالعات انجام یافته با روش فوق برای هفت ناحیه از شهر توکیو در شکل شماره (۵) نشان داده شده است.

در شکل شماره (۵) نقاط داخل دوایر محل ایستگاههای اندازه گیری، دایره کوچک وسط (مقطع) ۵۰۰ متر، دایره وسط ۱۰۰۰ متر و دایره بزرگ ۲۰۰۰ متر وسعت را نشان می دهند. درصد کاربریهای ناحیه شماره (۱) به عنوان نمونه در جدول شماره (۱) و ضرایب مورد نیاز فرمول شماره (۶) برای این ناحیه در جدول شماره (۲) نشان داده شده است. با استفاده از داده های جداول (۱) و (۲) طبق فرمول شماره (۶) مقدار θ_m برای ناحیه مورد مطالعه ۳۱/۶ درجه سانتی گراد محاسبه می شود.



شکل شماره ۵ - مناطق هفتگانه شهر توکیو در مطالعه درجه حرارت شهری

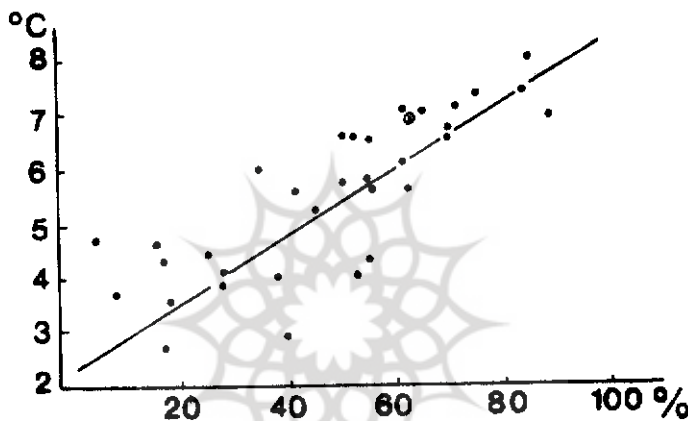
جدول شماره ۱ - درصد کاربریهای ناحیه شماره (۱) در شکل شماره (۵)

مقیاس (m)	G %	I %	w %	H %	B %
۵۰۰	۷	۶۳	۷	۱۷	۶
۱۰۰۰	۱۴	۷۵	۵	۶	۰
۲۰۰۰	۱۰	۷۴	۲	۱۷	۰

جدول شماره ۲ - ضرایب مورد نیاز فرمول (۶) برای ناحیه شماره (۱) در شکل شماره (۵)

ضریب / مقیاس (m)	a	b	c	d	e	f
۵۰۰	۴۰/۷	-۰/۱۱	-۰/۱۰	-۰/۱۲	-۰/۰۸	-۰/۱۰
۱۰۰۰	۴/۳۵	-۰/۰۹	-۰/۰۶	-۰/۰۲۴	-۰/۰۱۶	۰/۳۴
۲۰۰۰	۶	-۱/۵۱	۰/۶۱	۰/۰۹	۰/۲۶	۱/۰۹

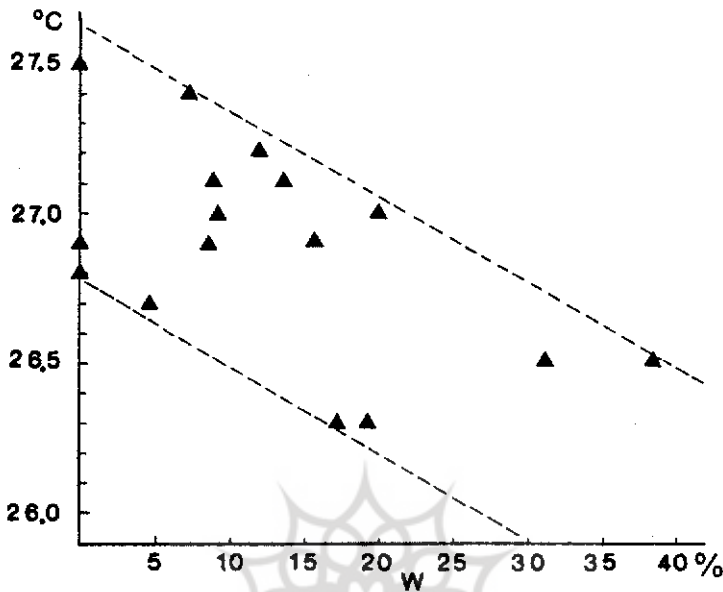
شایان ذکر است که در فرمول شماره (۶) ضرایب b و d تا زمانی که محدوده فضای سبز زمینها و آبها نقشی در کاهش حرارت دارند منفی بوده و برعکس I و H و B عموماً در افزایش درجه حرارت موثر هستند زیرا این سطوح غالباً بابتون، آسفالت، مواد سفت یا سطح خاک غیرقابل نفوذ پوشیده شده اند. یکی از نتایج به دست آمده از تحقیقات مربوط به رابطه سطح غیرقابل نفوذ با درجه حرارت هوا منحنی ریگرسیون ارائه شده در شکل شماره (۶) است.



شکل شماره ۶ - رابطه سطح غیرقابل نفوذ و درجه حرارت هوا در شهر توکیو

به طوری که در شکل شماره (۶) دیده می شود به نسبت افزایش سطح غیرقابل نفوذ، درجه حرارت بالایی از هوا نیز وجود خواهد داشت. در شهرهایی با محیط آبی زیادتر، درجه حرارت شهر بیشتر متأثر از محیطهای آبی می باشد. نمونه ای از این حالت در شکل شماره (۷) برای شهر هیروشیما که دارای شش رودخانه با سطوح آبی وسیع در داخل شهر است نشان داده شده و بیانگر تاثیر رودخانه ها در درجه حرارت شهر به عنوان عاملی خنک کننده می باشد.

باید توجه داشت که در نواحی با سطوح آبی زیاد جریان حرارت نهان تبخیر (E) بیش از نواحی پر از ساختمان بوده و برعکس جریان حرارت محسوس (C) به طور نسبی کمتر است. در چنین نواحی جهت بررسی اثر سطوح آبی در درجه حرارت شهر، مقادیر E و C در فرمول بودجه حرارتی به صورت زیر ارائه می شوند:



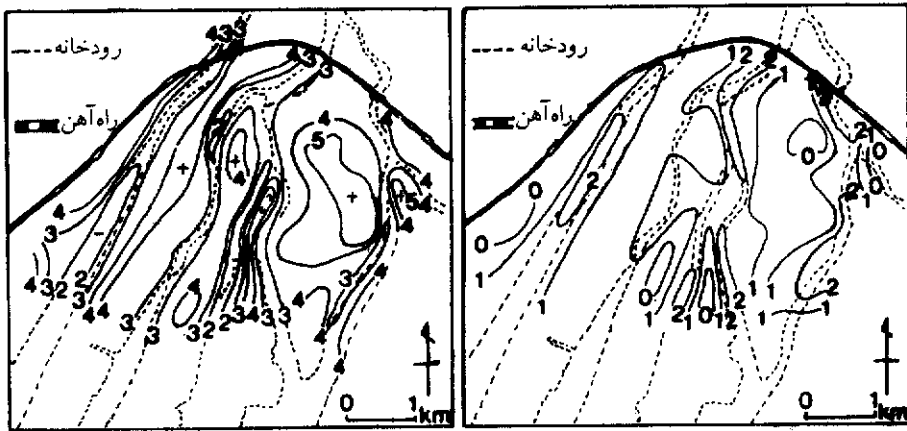
شکل شماره ۷ - رابطه نواحی آبی و درجه حرارت هوا در شهر هیروشیما

فرمول شماره (۷): $E = 0.622 \cdot L \cdot p \cdot \frac{Dw}{p} (es - ea)$

فرمول شماره (۸): $C = p C_p D_h (T_s - T_a)$

در فرمولهای فوق L حرارت نهان تبخیر (۵۸۵ کالری)، p چگالی هوا، Dw پخش مولکولی بخار آب، p فشار هوا، es فشار بخار در سطح تبخیر، ea فشار بخار در ارتفاع معین، C_p حرارت ویژه هوا در فشار ثابت، D_h ضریب پخش مولکولی برای حرارت، T_s درجه حرارت سطح و T_a درجه حرارت هوا در ارتفاع معین است. از آنجایی که به دست آوردن مقادیر D_h و D_w بسیار مشکل است، لذا نمی توان مقادیر E و C را به تنهایی تعیین کرد بنابراین فرض می شود که در فرمول شماره (۷) $\frac{Dw}{p}$ و در فرمول شماره (۸) $C_p D_h$ مقادیر ثابتی بوده و $es - ea$ و $T_s - T_a$ به ترتیب متناسب با $e_{30} e_{180} (= \Delta e)$ و $e_{30} e_{180} (= \Delta T)$ باشند. این مقادیر با روش «موبیل»^۹ در شهر هیروشیما مورد اندازه گیری قرار گرفته و توزیع آنها روی نقشه شهر در اشکال شماره (۸) و (۹) نشان داده شده اند.

۹ - اندازه گیری با نصب دستگاهها در اتومبیل و حرکت در طول یک مسیر مشخص که به «روش حرکتی» نیز موسوم



شکل شماره ۹- نقشه توزیع $T_s - T_{180}(ac)$ در شهر هیروشیما

شکل شماره ۸- نقشه توزیع $e_{30} e_{180}(aE)$ در شهر هیروشیما

مقادیر Δe در مجاورت رودخانه‌ها نسبت به نواحی دیگر تمایل به افزایش نشان می‌دهد و این بدان معناست که تبخیر از رودخانه بسیار فعال‌تر بوده و جریان حرارت نهان تبخیر نقش مؤثری در خنک‌کنندگی حرارت شهر را دارا است. خطوط همدمای گرادیان حرارتی (ΔT) در شکل شماره ۹ با استفاده از T_s (درجه حرارت سطح اندازه‌گیری شده با حرارت سنج مادون قرمز) به دست آمده است و قابل تشخیص است که ΔT_s در مجاورت محیط‌های آبی نسبت به نواحی پراز ساختمان شهر کمتر است. به طور خلاصه می‌توان گفت محیط‌های آبی شهری در تعدیل حرارت شهر از نقطه نظر بیلان حرارتی مؤثر می‌باشند.

بجز فاکتورهای مذکور که در این نوشته بدانها اشاره شده، فاکتورهای طبیعی دیگری از جمله «اثر گلخانه‌ای» از طریق آلودگی هوا «انورسیون حرارتی»^{۱۱}، «توپوگرافی»^{۱۲} و غیره نیز در افزایش حرارت شهری مؤثرند. در بین عوامل فوق بویژه اثر گلخانه‌ای عامل پیچیده‌تری برای اندازه‌گیری بوده و لذا مطالعات بسیار اندکی در رابطه با این پارامتر صورت گرفته است. در حال حاضر یکی از مهمترین مسائلی که می‌بایست مورد مطالعه قرار گیرد تعیین درصد اشتراک هریک از فاکتورها در افزایش درجه حرارت شهر می‌باشد. بدیهی

است این مقادیر را می توان با نظیرسازی فاکتورها از طریق برنامه های کامپیوتری یا روشهای مهندسی مورد تجزیه و تحلیل قرارداد.

نتایج کلی مطالعاتی که در این نوشته بدانها اشاره شد به قرار زیر خلاصه می شوند:

- ۱ - تعداد جمعیت یا تراکم آن در شهرها ارائه دهنده جریان کامل حرارت ناشی از تولید یا فعالیت مصرف است که همان حرارت آنتروپوژنیز می باشد.
- ۲ - در نواحی از شهر با تراکم زیادی از ساختمانهای بلند درجه حرارتهای بالایی وجود خواهد داشت.

۳ - به نسبت افزایش سطوح غیرقابل نفوذ در شهرها درجه حرارت هوانیزافزایش خواهد یافت.

۴ - سیستم رودخانه های شهری در تعدیل حرارت شهر تأثیر مثبتی دارند.

قدردانی

بدینوسیله از آقایان دکتر حسن علیزاده و بهروز ساری صراف اساتید محترم گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه تبریز که در تهیه این مقاله از نظرات صائبشان بهره مند بوده ام سپاسگزاری می کنم و از خانم مرضیه فرقانی دانشجوی محترم رشته جغرافیا که در تهیه اشکال همکاری داشته اند تشکر می شود.

فهرست منابع:

- 1 - Fukuoka Yoshitaka (1983): «Physical climatological Discussion on Causal Factors of Urban Temperature» Memoris of the Faculty of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima Univ., SerIV, vol. 8. pp. 157- 178, Japan.
- 2 - Fukuoka Yoshitaka, et. al. (1980): «Influence of river water on the Urban Climate», Research of water temperature, vol. 4, pp. 2-9, Japan.
- 3- Fukuoka Yoshitaka, et. al. (1979): «Urban climate and air quality of Hiroshima City (1st Report)», «Chirikagaku (Geographical Science)», vol. 32. pp. 24-32, Japan.
- 4 - Fukuoka Yoshitaka (1978): «Kankyō Chiri» (Environmental Geography), chapter 53 «Process of heat-island and density of population and house», (In Japanese).
- 5 - Fukuoka Yoshitaka (1969): «Relation of precipitation to soil temperature (1st Report)», «Cooling effect of ground surface by rain water, Geog. Rev. Japan, vol. 42, pp. 735-764.
- 6 - Oke, T. R. (1978): «Boundary Layer Climates», Methuen, London, p. 257-259.
- 7 - Yoshino, M. (1975): «Climat in a Small Area», Chapter 3 «Ground surface and climate in a small area», Section 3-2p. 80-97. University of Tokyo Press.