شدة الجزر الحرارية للمدن الرئيسة في دلتا النيل
دراسة مقارنة في مناخ الحضر باستخدام مرئيات Terra MODIS

وليد عباس عبد الراضي حسان(*)

الملخص

استخدمت الدراسة اسلوبا يعتمد على تكامل تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في دراسة التأثير الحضري على درجة الحرارة في المدن الرئيسة بدلتا نهر النيل. وقد اعتمدت الدراسة في سبيل تحقيق ذلك على مرئيات Terra MODIS لعام 2013، بحيث تكون ممثلة لكل المستويات الزمنية، يوميا وشهريا وفصليا وسنويا. توصلت الدراسة إلى أن مدن الدلتا دائما ما تمثل جزرا حرارية بالنسبة لظهيرها الزراعي، مع وجود استثناءات بسيطة. وتتباين قوة هذه الجزر على كل المستويات الزمنية، كما تتباين مكانيا من مدينة لأخرى لأسباب عدة تم تناولها بالمناقشة والتحليل. وقد أوصت الدراسة في النهاية بضرورة إلقاء مزيدا من الاهتمام البحثي على ظاهرة الجزر الحرارية في المدن المصرية، بما يساهم في مواجهة ما ينجم عنها من مشكلات وآثار سلبية في البيئة الحضرية، وهي المدن التي تعاني أساسا من مشكلات ارتفاع درجة الحرارة نظرا لموقعها شبه المداري.

الكلمات المفتاحية: الجزر الحرارية الحضرية، دلتا النيل، مناخ المدن، موديس.

(*)مدرس، كلية الآداب، جامعة عين شمس

Intensity of Heat Islands of Main Cities of the Nile Delta: A Comparative Study in Urban Climatology Using Terra MODIS Visuals

Waleed Abbas Abd-Elrady Hassan

Abstract

An integrated GIS & RS methodology was used to study the urban effect on temperature of the main cities in the Nile delta. To do that, the research depended on Terra MODIS satellite images collected during 2013, which are representative for all time scales. It was concluded that the Nile delta cities usually appear as UHI, with negligible exceptions. The UHI intensity temporally and spatially varies because of several reasons, which have been discussed and analysed. It was recommended that UHI of Egyptian cities should be attained more research works to face its negative impacts in urban areas, which already suffer from high temperature problems due to its sub-tropical location.

Key Words: UHI & The Nile delta & Urban Climate & MODIS.

المقدمة

تشير ظاهرة الجزيرة الحرارية الحضرية UHI إلى ارتفاع درجة الحرارة داخل المدينة عما هي عليه في هواشها وضوحيها وظهيرها الزراعي، مما يجعل المدينة تبدو كجزيرة أكثر حرارة بالنسبة للمناطق المحيطة ذات الحرارة الأقل. وقد تطور استخدام المصطلح لاحقا ليشير إلى أي تعديل محلي يطرأ على خصائص الغلاف الجوي فوق المدن عن مثيله في الظهير الزراعي نتيجة لاختلاف استخدامات الأرض بينهما، سواء كان هذا التعديل في درجة الحرارة أو عنصر مناخي آخر، وسواء كانت المدينة أكثر حرارة من ظهيرها أو أقل.

وقد زاد الاهتمام بظاهرة الجزيرة الحرارية الحضرية باعتبارها تمثل واحدة من أبرز التأثيرات البشرية على البيئة الطبيعية لكوكب الأرض (Zhou, D. et al., 2015)، وهو تأثير من شأنه حدوث الكثير من المشكلات، مثل زيادة استهلاك الطاقة وزيادة الإنفاق المجتمعي عليه، وصعوبة توفير الوقود اللازم بالمعدلات المطلوبة للاستهلاك. كما يتسبب ارتفاع درجة الحرارة داخل المدن أيضا في التأثير على التلوث الجوي وصحة الإنسان وراحته وإنتاجيته، وصولا إلى زيادة معدلات الوفاة. ويزيد من حدة هذه المشكلات أن المراكز الحضرية تضم نحو نصف سكان العالم (Dezso, Z. et al., 2007). ولا يختلف الوضع في دلتا النيل عنه في العالم، حيث يضم حضر الدلتا 27.7 مليون نسمة، بما يمثل 50.3٪ من إجمالي عدد السكان في محافظات الدلتا (55.1 مليون نسمة) عام 2006 (الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء، 2006).

وتمثل المقارنة أحد المناهج التي يمكن من خلالها دراسة أكثر من مدينة، بُغية التوصل إلى نمط مكاني وزمني عام يحكم الخصائص الحرارية لتلك المدن ويفسره. كما يهدف إلى إظهار تباين سمات الجزر الحرارية للمدن وفقا لتنوع ظروفها الجغرافية، كما هو الحال بين المدن الساحلية والداخلية. لم تنل المقارنة رغم ذلك قدرا كبيرا من الاهتمام في أدبيات مناخ الحضر، وقد يكون عدم توفر البيانات سببا رئيسا في ذلك. لذا فقد مثلت بيانات الاستشعار عن بعد في مجال الأشعة دون الحمراء الحرارية Thermal IR فتحا في هذا المجال، خاصة مرئيات MODIS التي كانت مصدرا رئيسا للبيانات الحرارية والبيئية في دراسات مناخ المدن المقارنة، وذلك نظرا للتغطية المكانية الكبيرة للمرئيات، بما يجعلها وسيلة فعالة لتحقيق المقارنة المكانية عند دراسة المدن الواقعة في أقاليم واسعة الامتداد.

تمثل دراسة (Kim,Y.H. & Baik, J.J., 2004) واحدة من دراسات مناخ الحضر المقارنة، حيث تناولت بالدراسة أكبر ست مدن بكوريا الجنوبي. واهتمت دراسة (Dezso, Z. et al., 2007) بتناول الجزر الحرارية للمدن المليونية بوسط أوروبا. وانصبت دراسة (Jongtanom, Y. et al., 2011) على تناول التباين الزمني لثلاث مدن رئيسة في تايلاند. وتمثل دراسة (Peng, S. et al., 2012)

واحدة من أحدث وأهم وأضخم دراسات مناخ الحضر التي اهتمت بمنهج المقارنة. فقد تناولت الدراسة بالتحليل شدة الجزر الحرارية للمدن المليونية في العالم (419 مدينة). وقد تلاها دراسة (Zhou, D. et al., 2015) التي تناولت التأثير الحضري على المناخ في 32 مدينة رئيسة بالصين. وقد قدمت الدراسة الأخيرة رؤية جديدة ورائدة في دراسة الجزر الحرارية للمدن.

تهدف الدراسة الحالية في المقام الأول إلى التعرف على ملامح شدة الجزيرة الحرارية في المدن الرئيسة بدلتا النيل من خلال منهج مقارن، وصولا ـ اعتمادا على هذا المنهج المقارن ـ إلى تحديد هل هناك نمطا مكانيا وزمنيا واضحا لشدة الجزيرة الحرارية في مدن دلتا نهر النيل أم لا، ومدى توافق هذا النمط مع الصورة التوزيعية لشدة الجزر الحرارية كما تم تناولها والتوصل إليها في دراسات مماثلة.

وتفترض الدراسة مجموعة من الفروض البحثية تتمثل في:

- تشكل المدن الرئيسة في دلتا نهر النيل جزرا حرارية، حيث يزيد متوسط درجة حرارتها عن متوسط درجة حرارة ظهيرها الزراعي.
- تتباين قوة هذه الجزر الحرارية زمنيا، حيث تزيد قوة الجزر الحرارية في النصف الحار من العام عن النصف البارد، وفي الليل أكثر من النهار.
- تتوزع قوة الجزر الحرارية لمدن الدراسة مشكلة نمطا مكانيا يتفق وحجمها، حيث تزيد قوة الجزر الحرارية في المدن الأكبر حجما عنه في المدن الأصغر.

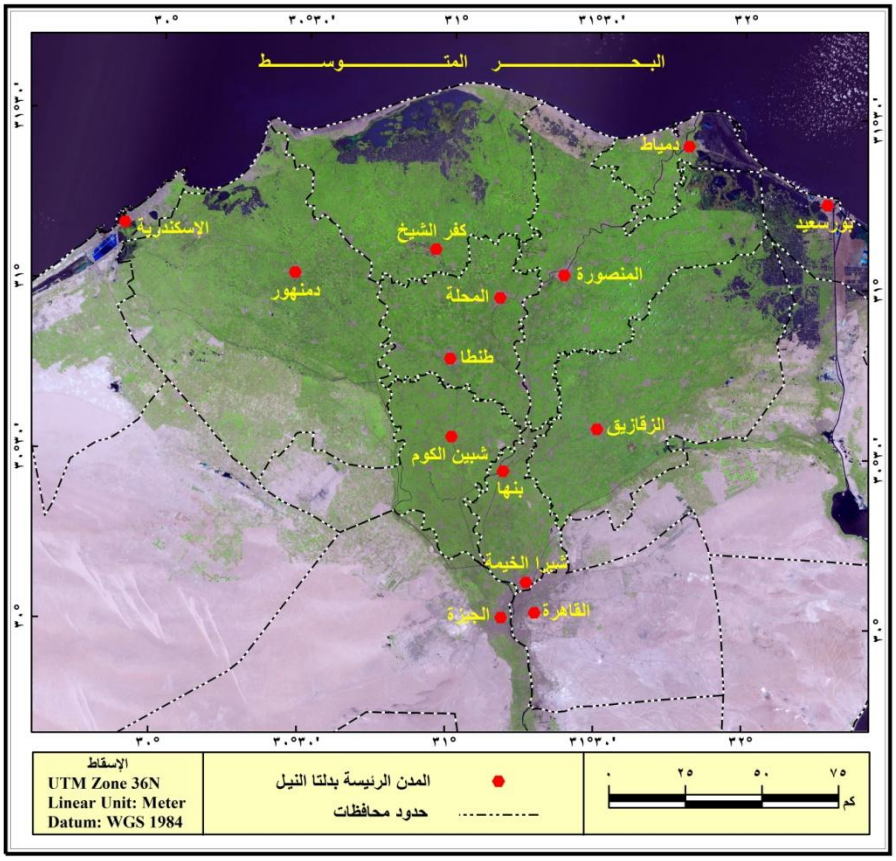
منطقة الدراسة:

تتناول الدراسة شدة الجزر الحرارية في المدن الرئيسة في دلتا نهر النيل. وقد تم تحديد هذه المدن بأربع عشرة مدينة من بين مدن الدلتا، كما يوضحها شكل (1)، ويبين جدول (1) أهم سماتها. وقد تم تحديد المدن الرئيسة في الدلتا اعتمادا على معيارين وثيقي الصلة بموضوع الدراسة، وهما التوصيف الإداري والحجم السكاني.

بالنسبة للمعيار الأول، فقد شملت الدراسة نوعين من المدن يمثلان قمة الهرم الإداري الحضري في مصر. النوع الأول يضم المدن التي يشكل امتدادها العمراني محافظات كاملة، وهي القاهرة والإسكندرية وبورسعيد. والنوع الآخر هي عواصم المحافظات، وتشمل الجيزة وبنها وشبين الكوم والزقازيق وطنطا والمنصورة ودمنهور وكفر الشيخ ودمياط. وهذه الاثنتا عشرة مدينة هي أيضا أكثر مدن الدلتا من حيث الحجم السكاني، حيث يتراوح عدد سكانها بين 8.7 مليون نسمة في القاهرة، ونحو 147.4 ألف نسمة في مدينة كفر الشيخ. وقد أضيف للمدن السابقة مدينتي شبرا الخيمة (مليون نسمة تقريبا) والمحلة الكبرى (443.5 ألف نسمة تقريبا) باعتبارهما مدينتين رئيسيتين في دلتا النيل، حيث يزيد عدد السكان فيهما عن بعض المدن سابقة الذكر كما يوضح جدول (1).

وتضم مدن الدراسة مجتمعة 19.8 مليون نسمة، بما يمثل 71.5٪ من سكان حضر الدلتا (27.7 مليون نسمة)، ونحو 35.9٪ من إجمالي عدد السكان في

محافظات الدلتا البالغ عددهم 55.1 مليون نسمة عام 2006 (الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء، 2006). وتقع المدن محل الدراسة وفقا لتصنيف كبن في نطاق الصحاري الحارة أو شبه المدارية، حيث تمتد طوليا لنحو درجة و43 دقيقة بين دائرتي عرض 47 ً 43 ً 29 ْ & 41 ً 26 ً 31 ْشمالاً، وعرضيا لما يقرب من درجتين و40 دقيقة بين خطي طول 04 ً 40 ً 29 ْ & 40 ً 20 ً 32 ْ شرقاً.



المصدر: المساحة الجيولوجية الأمريكية، مرئيات Landsat 8 OLI.

شكل (1) المدن الرئيسة في دلتا نهر النيل.

البيانات وأسلوب الدراسة.

أولا: قياس قوة الجزر الحرارية في مدن الدراسة.

اعتمدت الدراسة على مقياس "شدة الجزيرة الحرارية UHI Intensity" لبيان التأثير الكلي للمدن محل الدراسة على درجة الحرارة. ويمكن من خلال هذا

المقياس حساب قوة الجزيرة الحرارية للمدينة بطرح متوسط درجة حرارة الظهير الزراعي لكل مدينة من متوسط درجة حرارة المدينة. وهو تقريبا المقياس الكمي الوحيد الذي يمكن الاعتماد عليه في هذا الشأن. اللهم إلا مؤشر "شدة الجزيرة الحرارية القصوى Maximum UHII" المشتق من المقياس السابق، ويعبر عن أقصى تأثير للمدينة على درجة الحرارة بطرح متوسط درجة حرارة الظهير الزراعي لكل مدينة من أعلى درجة حرارة مسجلة داخل المدينة.

وقد اعتمدت الدراسات الأجنبية على مقياس "شدة الجزيرة الحرارية" للتعبير عن التأثير الحضري على درجة الحرارة داخل المدينة، بينما ركزت معظم الدراسات في مصر بدرجة أكبر على دراسة التباين الحراري داخل المدينة، دون مقارنته كميا بالظهير الزراعي (أمل معتوق، 2004؛ أحمد الفقي، 2007؛ شيماء عبد النبي، 2011، محمد هاني، 2011).

جدول (1) الخصائص الإدارية والسكانية للمدن الرئيسة في دلتا نهر النيل.

م	المدينة	التوصيف الإداري	عدد السكان (نسمة)	فئات السكان	المساحة العمرانية
1	القاهرة	**محافظة**	8,714,80	**مليونية**	358.2
2	الجيزة	ع محافظة	2,891,27	**مليونية**	80.5
3	شبرا الخيمة	قسم	1,027,50	**مليونية**	25.8
4	بنها	ع محافظة	157,701	متوسط	10.4
5	شبين الكوم	ع محافظة	177,112	متوسط	9.6
6	الزقازيق	ع محافظة	302,840	كبيرة	16.1
7	طنطا	ع محافظة	422,854	كبيرة	20.3
8	المحلة الكبرى	قسم	443,560	كبيرة	19.4
9	المنصورة	ع محافظة	439,348	كبيرة	20.2
10	دمنهور	ع محافظة	244,043	متوسط	9.7
11	كفر الشيخ	ع محافظة	147,393	متوسط	8.1
12	الاسكندرية	**محافظة**	4,084,67	**مليونية**	171.8
13	بورسعيد	**محافظة**	570,603	كبيرة	10.4
14	دمياط	ع محافظة	206,664	متوسط	12.9

المصدر: الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء، 2006.

*** القياس من نظام المعلومات الجغرافي الخاص بالدراسة.**

ثانيا: المرئيات الفضائية.

لجأت الدراسة إلى تكامل تقنيتي الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية من أجل تحليل المرئيات الفضائية ومخرجاتها المختلفة لدراسة قوة الجزر الحرارية في المدن الرئيسة بدلتا نهر النيل، والخروج بنتائج كمية توضح سمات هذه الجزر

الحرارية ونمطها المكاني وتباينها الزمني، وما يمكن أن يؤثر في ذلك من عوامل.

اعتمدت الدراسة على مرئيات المحس الطيفي متوسط الدقة Moderate Resolution Imaging Spectrometer (MODIS) المحمول على القمر الصناعي Terra، والذي أطلقته وكالة الفضاء الأمريكية NASA عام 1999. وتتسم تلك المرئيات بتغطية مكانية كبيرة للمرئية الواحدة (10 خطوط طول × 10 دوائر عرض) بما يجعلها وسيلة فعالة لتحقيق المقارنة المكانية في الدراسات الإقليمية لمناخ الحضر، مثل دلتا النيل. ويقوم المحس MODIS بتصوير سطح الأرض مرتين يوميا خلال النهار والليل، ومن ثم يمكن استخدامه في دراسة التباين اليومي للجزر الحرارية بمدن الدراسة. ويزيد من كفاءة هذه المرئيات في هذا الشأن أن القمر الصناعي Terra من النوع المتزامن مع الشمس Sun Synchronize، أي أنه يقوم بتصوير أي موقع على سطح الأرض في نفس التوقيت تقريبا، مما يسهل من عملية المقارنة في الدراسات المناخية.

ويعتبر MODIS أحد المحسات مفرطة الطيف Hyperspectral، حيث يقوم بالتصوير في 36 قناة طيفية تتراوح أطوالها بين 0.4-14.4 ميكرون (MODIS web site, http://modis.gsfc.nasa.gov). وتبلغ الدقة المكانية للقنوات الطيفية المرئية Visible ودون الحمراء Infrared 250-500 مترا، ويُحسب منها مؤشر التباين النباتي النسبي Normalized Differences Vegetation Index (NDVI). بينما تبلغ الدقة المكانية للقنوات الحرارية Thermal 1000 مترا، ويُحسب منها درجة الحرارة السطحية Land Surface Temperature. والحقيقة أن هذه الدقة المكانية المنخفضة لمرئيات MODIS جعلت من الصعب الاعتماد عليها لدراسة التركيب الحراري للمدن.

يوضح جدول (2) مرئيات Terra MODIS التي اعتمدت عليها الدراسة، وهي 48 مرئية تم اختيارها لتحقق تغطية مكانية لدلتا النيل بالكامل، ولتمثل الظروف الحرارية (درجة حرارة سطح الأرض LST) والنباتية (مؤشر التباين النباتي النسبي NDVI) في كل شهور العام (12 شهرا) نهارا وليلا خلال عام 2013. وقد تم اختيار المرئيات التي تخلو خلاياها بقدر الإمكان من السحب والغبار حتى لا يؤثر ذلك على دقة النتائج.

بدأ التعامل مع المرئيات بعد تحميلها بمرحلة **"الإعداد والتجهيز"**، حيث تم تجميع المرئيات Mosaicking وقطعها Subsetting بحيث تضم دلتا نهر النيل فقط. بعد ذلك تم تحويل إسقاط المرئيات من مسقط Sinusoid إلى مسقط UTM 36 N الذي يحقق أقل نسبة تشوه مكاني ممكن. وفي مرحلة **"الادخال"** لجأ الباحث إلى عملية التحويل الرقمي Digitizing لرسم الحدود العمرانية للمدن بالاستعانة بمرئيات Landsat8 لأنها ذات دقة مكانية أعلى، خاصةً بعد استخدام عملية "دمج الدقة المكانية Resolution Merge" لرفع دقتها المكانية من 30 مترا إلى 15

مترا. كما تم تحديد ظهير المدن بنطاق Buffer عرضه 6 كم حول كل مدينة[1]. كما تم إدخال البيانات السكانية والإدارية الخاصة بالمدن.

جدول (2) مرئيات Terra MODIS التي اعتمدت عليها الدراسة.

م	رقم المرئية		تاريخ الالتقاط	توقيت الالتقاط	التغطية الأرضية	التمثيل الزمني
	Vert	Hori				
1	5	20	20 يناير 2013	11:06 صباحا	الدلتا حتى شمال القاهرة	يناير صباحا
2	6	20			جنوب القاهرة	
3	5	20		10:06 مساءً	الدلتا حتى شمال القاهرة	يناير مساءً
4	6	20			جنوب القاهرة	
5	5	20	7 فبراير 2013	10:54 صباحا	الدلتا حتى شمال القاهرة	فبراير صباحا
6	6	20			جنوب القاهرة	
7	5	20		9:54 مساءً	الدلتا حتى شمال القاهرة	فبراير مساءً
8	6	20			جنوب القاهرة	
9	5	20	25 مارس 2013	11:06 صباحا	الدلتا حتى شمال القاهرة	مارس صباحا
10	6	20			جنوب القاهرة	
11	5	20		10:06 مساءً	الدلتا حتى شمال القاهرة	مارس مساءً
12	6	20			جنوب القاهرة	
13	5	20	26 إبريل 2013	11:06 صباحا	الدلتا حتى شمال القاهرة	إبريل صباحا
14	6	20			جنوب القاهرة	
15	5	20		10:06 مساءً	الدلتا حتى شمال القاهرة	إبريل مساءً
16	6	20			جنوب القاهرة	
17	5	20	5 مايو 2013	11:00 صباحا	الدلتا حتى شمال القاهرة	مايو صباحا
18	6	20			جنوب القاهرة	
19	5	20		10:00 مساءً	الدلتا حتى شمال القاهرة	مايو مساءً
20	6	20			جنوب القاهرة	
21	5	20	17 يونية 2013	10:42 صباحا	الدلتا حتى شمال القاهرة	يونية صباحا
22	6	20			جنوب القاهرة	
23	5	20		09:42 مساءً	الدلتا حتى شمال القاهرة	يونية مساءً
24	6	20			جنوب القاهرة	

جدول (2) مرئيات Terra MODIS التي اعتمدت عليها الدراسة.

م	رقم المرئية		تاريخ الالتقاط	توقيت الالتقاط	التغطية الأرضية	التمثيل الزمني
	Vert	Hori				
25	5	20	17 يوليه 2013	10:54 صباحا	الدلتا حتى شمال القاهرة	يوليه صباحا
26	6	20			جنوب القاهرة	
27	5	20		09:54 مساءً	الدلتا حتى شمال القاهرة	يوليه مساءً
28	6	20			جنوب القاهرة	
29	5	20	16 أغسطس 2013	11:06 صباحا	الدلتا حتى شمال القاهرة	أغسطس صباحا
30	6	20			جنوب القاهرة	
31	5	20		10:06 مساءً	الدلتا حتى شمال القاهرة	أغسطس مساءً
32	6	20			جنوب القاهرة	
33	5	20	17 سبتمبر 2013	11:06 صباحا	الدلتا حتى شمال القاهرة	سبتمبر صباحا
34	6	20			جنوب القاهرة	
35	5	20		10:06 مساءً	الدلتا حتى شمال القاهرة	سبتمبر مساءً
36	6	20			جنوب القاهرة	
37	5	20	14 أكتوبر 2013	10:48 صباحا	الدلتا حتى شمال القاهرة	أكتوبر صباحا
38	6	20			جنوب القاهرة	
39	5	20		09:48 مساءً	الدلتا حتى شمال القاهرة	أكتوبر مساءً
40	6	20			جنوب القاهرة	
41	5	20	13 نوفمبر 2013	11:00 صباحا	الدلتا حتى شمال القاهرة	نوفمبر صباحا
42	6	20			جنوب القاهرة	
43	5	20		10:00 مساءً	الدلتا حتى شمال القاهرة	نوفمبر مساءً
44	6	20			جنوب القاهرة	
45	5	20	26 ديسمبر 2013	10:42 صباحا	الدلتا حتى شمال القاهرة	ديسمبر صباحا
46	6	20			جنوب القاهرة	
47	5	20		09:42 مساءً	الدلتا حتى شمال القاهرة	ديسمبر مساءً
48	6	20			جنوب القاهرة	

المصدر: المساحة الجيولوجية الأمريكية، http://glovis.usgs.gov.

تمثل عملية تصنيف الغطاءات الأرضية أولى خطوات **"مرحلة التحليل والمعالجة"** وقد كان من الصعب فصل المناطق العمرانية عن النباتية نظرا للدقة المكانية المنخفضة للمرئيات ووجود خلايا مختلطة Mixed Pixels بها. لذا فقد

استند الباحث إلى قيم "مؤشر التباين النباتي النسبي" من أجل تصنيف الغطاءات الأرضية من خلال عملية التصنيف Reclassify، وذلك تمهيدا لاستخدام هذا التصنيف في دراسة الخصائص الحرارية للعمران الحضري والظهير الزراعي بواسطة عمليات التحليل المكاني Spatial analysis، مثل التحليل النطاقي Zonal analysis والارتباط المكاني. وقد تبين من فحص المرئيات أن قيم مؤشر التباين النباتي النسبي المعبرة عن الغطاءات الأرضية المختلفة تتمثل فيما يلي:

- خلايا ذات قيم (NDVI < 0): وتعبر عن الظاهرات المائية، مثل نهر النيل.
- خلايا ذات قيم (0 ≤ NDVI < 0.25): تعبر عن العمران الحضري داخل المدن.
- خلايا ذات قيم (0.25 ≤NDVI < 0.4): تعبر عن الخلايا المختلطة، وقد تم استثناءها من عملية التحليل.
- خلايا ذات قيم (NDVI ≥ 0.4): تعبر عن الغطاء النباتي في ظهير المدن.

بمجرد الانتهاء من تصنيف الغطاءات الأرضية في دلتا النيل تم إجراء عمليات التحليل النطاقي Zonal Statistics للحصول على المؤشرات الإحصائية الخاصة بدرجة الحرارة ومؤشر التباين النباتي النسبي في مدن الدلتا الرئيسة وظهيرها الزراعي. وقد تم ذلك لدرجات الحرارة نهارا وليلا ويوميا، وعلى المستوى الفصلي والسنوي. وفي المرحلة الأخيرة "المخرجات" تم تجهيز المخرجات الجدولية والخرائطية والبيانية تمهيدا للكتابة.

المناقشة والتحليل.

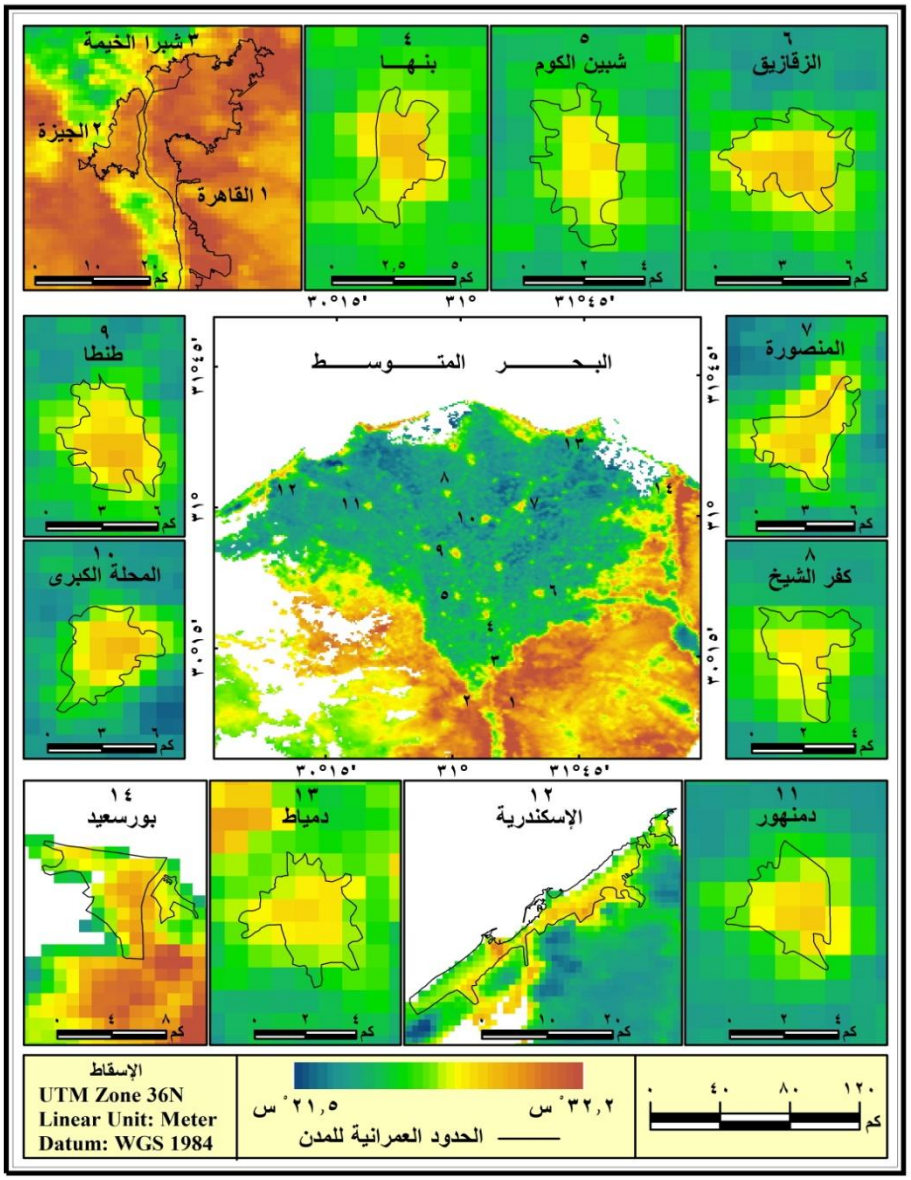
أولا: الجزيرة الحرارية للمدن الرئيسة في دلتا نهر النيل.

يوضح شكل (2) الجزر الحرارية للمدن الرئيسة بدلتا النيل على مستوى المتوسط السنوي لدرجة الحرارة اليومية خلال عام 2013. ويظهر من الشكل أن درجة حرارة في كل المدن أعلى من مثيلتها في الظهير الزراعي لتلك المدن. ويوضح جدول (3) أن المتوسط السنوي لدرجة الحرارة اليومية في العمران الحضري لمدن الدراسة خلال عام 2013 بلغ حوالي 26.6^{5} س، بينما بلغ ذات المتوسط في الظهير الزراعي 23.8^{5} س. أي أن المتوسط السنوي لشدة الجزيرة الحرارية اليومية في المدن الرئيسة بالدلتا يبلغ 2.8^{5} س.

ويبدو هذا النمط الحراري بين المدن الرئيسة بدلتا نهر النيل وظهيرها الزراعي نمطا ثابتا، حيث ظهر في كل المستويات الزمنية، سنويا وفصليا ويوميا كما يوضح جدول (3). ويشير ذلك إلى أن المدن الرئيسة في دلتا نهر النيل تشكل ما يعرف بظاهرة "الجزر الحرارية" بالنسبة لظهيرها الزراعي، أو كما تطلق عليها بعض الدراسات اسم "الجزر الحرارية الموجبة" (Cicek, I. & Turkoglu, N., 2009; Hondula, D.A. et al., 2014; Saaroni, H. & Ziv, B., 2010).

والحقيقة أن ظاهرة الجزر الحرارية ظاهرة مناخية لوحظت في معظم مدن العالم، بداية من مدينة لندن صاحبة الدراسة الرائدة في هذا المجال (Howard, L.,

(1833، مرورا بمدن أخرى، سواء كانت مدنا رئيسة وضخمة، مثل نيويورك (Gedzelman, S.D. et al., 2003)، وموسكو (Lokoshchenko, M. A. & Isaev, A. A., 2003)، وبكين (Liu, W. et al., 2009)، أو مدنا صغيرة، مثل إيلات (Sofer, M. & Potchter, O., 2006)، وتونامي Tonami باليابان (Murakami, A. & Hoyano, A. 2008).



المصدر: المتوسط السنوي لدرجة الحرارة اليومية من مرئيات Terra MODIS.

شكل (2) الجزر الحرارية للمدن الرئيسة بدلتا نهر النيل على مستوى المتوسط السنوي لدرجة الحرارة اليومية خلال عام 2013.

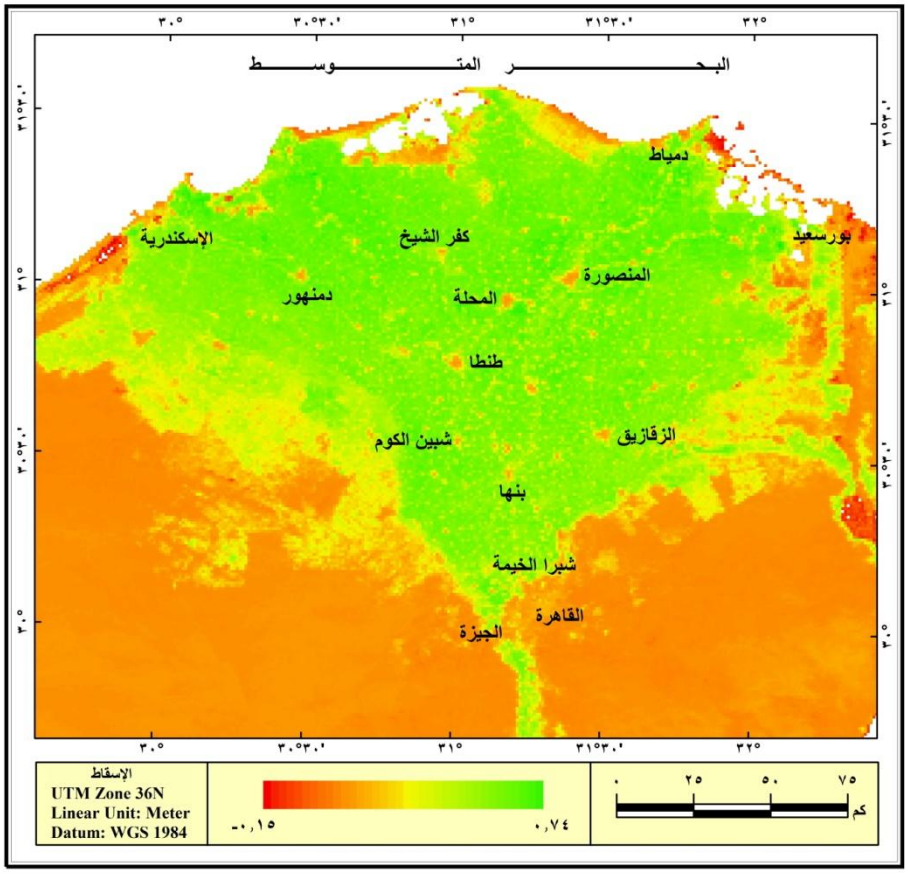
ويمكن تفسير ظهور المدن الرئيسة في دلتا النيل كجزر حرارية من خلال عدة عوامل، يأتي في مقدمتها عوامل "نشأة الجزر الحرارية"، وهي العوامل المحددة لظهور الجزر الحرارية من عدمه، وتشمل الغطاءات الأرضية الحضرية والانبعاثات الحرارية من المصادر البشرية (وليد عباس، 2013). وهناك مجموعة أخرى من العوامل تؤثر في قوة الجزيرة الحرارية الحضرية زيادةً أو نقصا، مثل العوامل المناخية والتخطيط الحضري وطبوغرافية السطح وموقع المدينة.

تظهر المدن محل الدراسة أكثر حرارة من ظهيرها الزراعي بشكل أساسي نتيجة تفاعل الإشعاع الشمسي مع المواد المشكلة للمنشآت الحضرية (الأسمنت والأسفلت والمعادن) بشكل يختلف عن تفاعله مع الظهير الزراعي. فالجزء المكتسب (الممتص) من الإشعاع الشمسي في تلك المدن يوجه بالكامل لرفع درجة حرارتها، حيث تُعيد الأسطح الحضرية المختلفة بث هذا الإشعاع المكتسب في شكل إشعاع أرضي طويل الموجات، أو ما يُطلق عليه تدفق الحرارة المحسوسة Sensible Heat flux. ويختلف الوضع في الظهير الزرعي نتيجة وجود الزراعات المختلفة ورطوبة التربة. فالجزء المكتسب من الإشعاع الشمسي في الظهير الزراعي يتم استهلاك جزء لا بأس منه في عملية التبخرنتح، حيث يتحول إلى حرارة كامنة Latent Heat داخل جزيئات بخار الماء، وليس لهذا التدفق الحراري الكامن مردود حراري في مناطق الظهير الزراعي. ونظرا لما سبق يُطلق على المناطق الحضرية أحيانا اسم "الأسطح غير المعرضة للتبخرنتح Non-evapotranspiring Surfaces" نظرا لانعدام الرطوبة السطحية بها (Weng, Q., 2003).

ويُعبر عن العلاقة بين تدفق كل من الحرارة المحسوسة والحرارة الكامنة من الأسطح والغطاءات الأرضية المختلفة من خلال مؤشر يسمى "نسبة بوين Bowen ratio"[(2)]. وتصل تلك النسبة بوجه عام إلى 5 داخل المدن، وتتراوح بين 0.5-2 فوق الغطاء الأخضر. أي أن تدفق الحرارة المحسوسة داخل المدن يبلغ خمسة أضعاف تدفق الحرارة الكامنة، بينما لا يمثل إلا الضعف على أقصى تقدير في الظهير الزراعي. وكلما زادت تلك النسبة دل ذلك على زيادة التدفق الحراري المحسوس على حساب التدفق الحراري الكامن، والعكس صحيح (Oke, T.R. et al., 1999; Oladosu, O.R. et al., 2007).

يوضح شكل (3) توزيع مؤشر التباين النباتي النسبي NDVI في دلتا نهر النيل والمناطق المتاخمة. وهو أحد أهم المؤشرات المستخدمة لدراسة الغطاء الأخضر، حيث يُستدل على الكثافة النباتية المرتفعة من زيادة قيمته، والعكس صحيح. ويؤكد الشكل على ما سبق ذكره من أن انخفاض درجة الحرارة في الظهير الزراعي عن المدن الرئيسة في الدلتا يرتبط بانتشار الغطاء الأخضر المزروع في الظهير الزراعي (ذو القيم المرتفعة لمؤشر NDVI بمتوسط عام 0.58)، بينما تنتشر الأسطح الحضرية غير المعرضة للتبخرنتح داخل تلك المدن (ذات القيم

المنخفضة لمؤشر NDVI بمتوسط عام 0.16). وقد أوضحت تحليلات الإحصاء المكاني في نظم المعلومات الجغرافية أن العلاقة بين درجة الحرارة والكثافة النباتية علاقة عكسية قوية تبلغ قيمتها -0.8. أي أن التباينات النباتية مسئولة عن 89٪ من التباينات الحرارية في منطقة الدراسة، حيث يبلغ معامل التحديد 0.89. وقد ظهرت العلاقة العكسية نفسها في مدينة لاجوس، لكن العلاقة كانت أضعف مما هي عليه في دلتا النيل (Uwadiegwu, I. et al., 2011).



المصدر: مرئيات Terra MODIS.

شكل (3) المتوسط السنوي لمؤشر التباين النباتي النسبي NDVI في دلتا نهر النيل والمناطق المتاخمة لها خلال عام 2013.

أضف لما سبق عاملا رئيسيا آخر يساهم في تكون الجزيرة الحرارية للمدن قيد الدراسة، وهو الانبعاثات الحرارية من المصادر البشرية. فالمدن تختص عن

ظهيرها الزراعي بوجود انبعاثات حرارية من مصادر بشرية مختلفة تمثل مصدرا حراريا يضاف للميزانية الحرارية للمدن (Shahmohamadi, P. et al. 2011)، دون وجود انبعاثات مماثلة في الظهير الزراعي، والذي يتميز بميزانية حرارية طبيعية تعتمد على الإشعاع الشمسي فقط. وتتنوع مصادر تلك الانبعاثات في المدن، وتشمل وسائل النقل والمنشآت الصناعية ومحطات توليد الطاقة واستهلاك الطاقة في التبريد والتدفئة وتشغيل الأجهزة في المناطق التجارية والمنازل (De Carolis, L., 2012). ويعتبر السكان أنفسهم مصدرا لتلك الانبعاثات الحرارية، والتي تنتج عن العمليات الحيوية التي تتم داخلهم لإنتاج الطاقة اللازمة لاستمرار الحياة (Emmanuel, R. & Fernando, H. J., 2007).

ثانيا: التباين الزمني للجزيرة الحرارية في المدن الرئيسة بدلتا نهر النيل.

يلخص جدول (3) وشكل (4) سمات التباين الزمني لشدة الجزيرة الحرارية على مستوى مدن الدراسة ككل، وذلك من خلال تحليل درجات الحرارة المستخرجة من مرئيات MODIS خلال عام 2013. ويظهر من الجدول والشكل أن قوة الجزيرة الحرارية لمدن دلتا النيل الرئيسة تتباين من فصل لآخر، كما تتباين على مدار اليوم بين النهار والليل. وفيما يلي عرضا لهذا التباين الزمني.

أ. التباين الفصلي لشدة الجزر الحرارية.

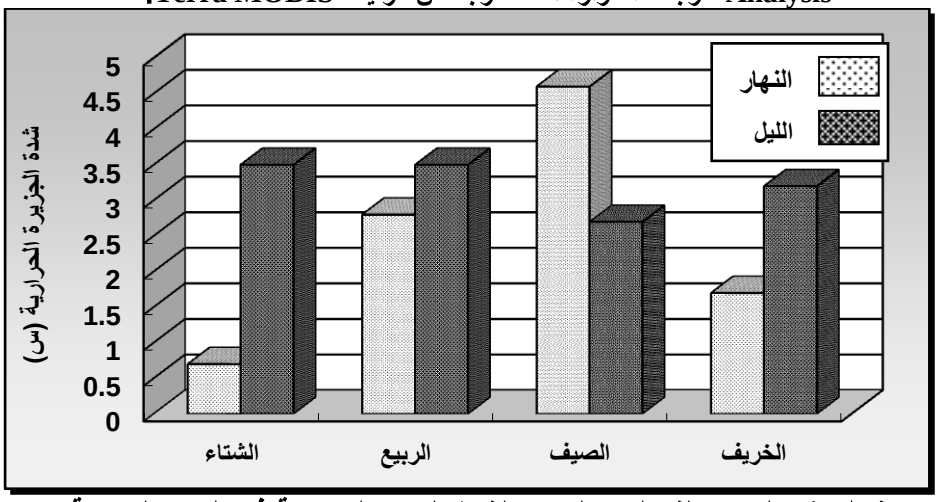
يُلاحظ من جدول (3) وشكل (4) أن الانقلابين المناخيين (فصلا الشتاء والصيف) يمثلان النقيضان في شدة الجزيرة الحرارية بالمدن الرئيسة في دلتا نهر النيل. ففي فصل الصيف يصل متوسط درجة حرارة العمران الحضري إلى 33.9^{5} س ليزيد عن مثيله في الظهير الزراعي (30.2^{5} س) بنحو 3.7^{5} س، ليحتل فصل الصيف بذلك المرتبة الأولى في قوة الجزيرة الحرارية في منطقة الدراسة. ويقع فصل الشتاء على الجانب الآخر من فصل الصيف، حيث يبلغ متوسط درجة حرارة العمران الحضري 17.4^{5} س، ومتوسط درجة الحرارة في الظهير الزراعي 15.3^{5} س، ومن ثم تكون الجزيرة الحرارية للعمران الحضري في دلتا نهر النيل خلال فصل الشتاء هي الأضعف بين الفصول الأربعة (2.1^{5} س).

وتحتل قوة الجزيرة الحرارية للمدن محل الدراسة خلال الاعتداليين المناخيين موقعا وسطا بين قوتها خلال الانقلابين المناخين، حيث تصل قوة الجزيرة الحرارية للمدن الرئيسة في دلتا النيل ككل إلى 3.2^{5} س في فصل الربيع، و2.5^{5} س خلال فصل الخريف. ففي فصل الربيع تتحقق شدة الجزيرة الحرارية المذكورة من الفارق الحراري بين المدن (27.2^{5} س) وظهيرها الزراعي (24.0^{5} س)، وفي الخريف من الفارق الحراري بين المدن (28.0^{5} س) وظهيرها الزراعي (25.5^{5} س).

جدول (3) التباين الزمني لشدة الجزر الحرارية في المدن الرئيسة بدلتا نهر النيل بالنسبة للظهير الزراعي خلال عام 2013.

الفصل المناخي	درجات الحرارة نهارا (س)			درجات الحرارة ليلا (س)			المتوسط اليومى لدرجة الحرارة (س)		
	المدن	الظهير الزراعي	شدة الجزيرة الحرارية	المدن	الظهير الزراعي	شدة الجزيرة الحرارية	المدن	الظهير الزراعي	شدة الجزيرة الحرارية
الشتاء	21.1	20.4	0.7	13.6	10.2	3.5	17.4	15.3	2.1
الربيع	34.3	31.5	2.8	20	16.5	3.5	27.2	24.0	3.2
الصيف	41	36.4	4.6	26.8	24.1	2.7	33.9	30.2	3.7
الخريف	33.3	31.6	1.7	22.7	19.5	3.2	28.0	25.5	2.5
المتوسط	32.4	30.0	2.4	20.8	17.6	3.2	26.6	23.8	2.8

المصدر: التحليل الإحصائي لمخرجات التحليلات المكانية النطاقية GIS Spatial Zonal Analysis لدرجات الحرارة المستخرجة من مرئيات Terra MODIS.



شكل (4) التباين الفصلي واليومي لشدة الجزر الحرارية في المدن الرئيسة بدلتا نهر النيل بالنسبة للظهير الزراعي خلال عام 2013.

وقد أشارت العديد من الدراسات إلى ظهور الجزر الحرارية الحضرية خلال الفصل الحار بشكل أقوى من الفصل البارد. ففي سنغافورة تظهر الجزيرة الحرارية كأقوى ما تكون خلال الفترة من مايو إلى أغسطس (Chow, W.T.L. & Roth, M., 2006). وفي دلهي تتطور الجزيرة الحرارية بشكل أقوى خلال الصيف (Babazadeh, M. & Kumar, P., 2015). كما ظهرت الجزيرة الحرارية لنيويورك أقوى في الصيف عن الشتاء، وإن كانت أضعف في الربيع عن الخريف (Gedzelman, S.D. et al., 2003). وتوصل (Arnfield, A. J., 2003) في دراسة مرجعية عن مناخ الحضر إلى أن شدة الجزيرة الحرارية تتطور بشكل أكبر خلال النصف الحار أكثر من النصف البارد، وفي الفصل الجاف أكثر من الفصل الرطب. لذا كان فصل الصيف الأكثر حرارة وجفافا خلال العام في دلتا النيل صاحب الجزيرة الحرارية الأقوى من بين الفصول الأربعة.

ويمكن تفسير هذا النمط الفصلي لشدة الجزيرة الحرارية في مدن الدراسة في ضوء التباين الفصلي للإشعاع الشمسي. فكما هو واضح أن الجزيرة الحرارية الحضرية تصل لذروتها خلال الصيف تزامنا مع سقوط أكبر مقدار من الإشعاع الشمس خلال العام على منطقة الدراسة، بمتوسط 26.83 ميجا جول/ متر^2/يوم. والعكس في فصل الشتاء، حيث يصل الإشعاع الشمسي إلى أقل مستوياته، بمتوسط 12.38 ميجا جول/ متر^2/يوم (مسعد سلامة، 2002). أي أن مقدار الإشعاع الشمسي الساقط على منطقة الدراسة في الصيف أكثر من ضعف مثيله في الشتاء. ومما لا شك فيه أن تأثير المنشآت الحضرية داخل المدن في رفع درجة الحرارة عن الظهير الزراعي يزيد ويظهر بشكل أقوى مع زيادة الإشعاع الشمسي وبالتالي زيادة المردود الحراري له. كما يزيد مقدار الإشعاع الشمسي في فصل الربيع (22.38 ميجا جول/ متر^2/يوم) عن فصل الخريف (17.23 ميجا جول/ متر^2/يوم)، وهو ما يتسق مع زيادة قوة الجزيرة الحرارية في الربيع (3.2^5 س) عن الخريف (2.5^5 س).

يضاف إلى ذلك أن الانبعاثات الحرارية من المصادر البشرية تزيد خلال الشهور الحارة عن الشهور الباردة استجابة لارتفاع درجة الحرارة وزيادة استهلاك الطاقة في عمليات تبريد الهواء داخل المنازل والمنشآت الحضرية المختلفة. فكما هو معروف أن الطلب على الطاقة في مدن العروض الدنيا يتركز في فصل الصيف. وقد أوضحت دراسة سابقة (وليد عباس، 2013) أن استهلاك الطاقة الكهربائية في مجمع القاهرة الحضري يزيد في فصل الصيف (3696.4 م.ك.و.س) عن الشتاء (3054.9 م.ك.و.س) بأكثر من الخمس (21٪). ويختلف ذلك الوضع عما هو عليه في كثير من مدن العروض العليا والوسطى، حيث يحدث الطلب الرئيسي على الطاقة في الشهور الباردة بهدف التدفئة، ومن ثم تزيد الانبعاثات الحرارية خلال فصل الشتاء، وهو ما قد يجعل الجزر الحرارية لتلك المدن تتطور بشكل أوضح خلال هذا الفصل، كما هو الحال في مدينة أولو بفنلندا (Hara, Y. & Autio, J., 2007) وأوترخت بهولندا

(Koopmans, S. et al., 2012).

ويساهم أيضا في وضوح الجزيرة الحرارية لمدن الدلتا في فصل الصيف عن فصل الشتاء انخفاض نسبة تغطية السماء بالسحب في الأول (11.1٪) عن الثاني (38.1٪). فمن المعروف أن الجزيرة الحرارية الحضرية تتطور بشكل أقوى في ظل السماء الصافية الخالية من السحب (De Carolis, L., 2012). ويعود ذلك إلى أن غطاء السحب يعمل نهارا على خفض المكتسب الإشعاعي للمدينة من خلال زيادة الفاقد في الإشعاع الشمسي قبل وصوله إلى سطح الأرض، بينما يزيد تأثير غطاء السحب ليلا في خفض معدلات تسرب الإشعاع الأرض إلى السماء، وهي أمور من شأنها إضعاف الفارق الحراري بين المدينة وظهيرها الزراعي. ويمكن للمطر الشتوي أيضا أن يساهم في خفض قوة الجزيرة الحرارية لمدن الدلتا، إلا أن تأثيره محدود نظرا لقلة عدد الأيام المطيرة في دلتا النيل، خاصة في جنوبي ووسط الدلتا. ويساهم المطر في إضعاف الجزيرة الحرارية من خلال تنشيط عملية اختلاط الهواء، مما يعمل على تجانس حرارته (Kim, Y. & Baik, J., 2005).

ب.التباين اليومي لشدة الجزر الحرارية.

بات من الحقائق المستقرة في مناخ المدن أن الجزيرة الحرارية الحضرية ظاهرة ليلية في معظم الأحيان، أي أن قوتها خلال ساعات الليل أكبر منها خلال ساعات النهار. بل إن بعض المدن ظهرت كجزر حارة خلال الليل، بينما كانت أقل حرارة عن الظهير الزراعي خلال النهار، كما هو الحال في هونج كونج (Nichol, J., 2005). وفي نيويورك بين (Gedzelman, S.D. et al., 2003) أن الجزيرة الحرارية للمدينة ظاهرة ليلية في كل الفصول، وأوضح (Gaffin, S. R. et al., 2008) أن بعض أجزاءها ظهرت كجزيرة باردة خلال النهار. وفي باريس ظهرت الجزيرة الحرارية القصوى في صيف 2006 خلال الليل (Wouters, H. et al., 2013). وبرز ذات النمط اليومي لشدة الجزيرة الحرارية في مدينة فينيكس الأمريكية (Merkin, R., 2004).

يُظهر جدول (3) وشكل (4) أن المدن الرئيسة في دلتا النيل تظهر دائما كجزر حرارية خلال النهار والليل في كل الفصول وعلى المستوى السنوي. ويبدو النمط اليومي لشدة الجزيرة الحرارية في الدلتا متسقا مع الحقيقة السابق ذكرها خلال فصول الشتاء والربيع والخريف، حيث تزيد قوة الجزيرة الحرارية في الليل عن النهار. ففي فصل الشتاء لا تتعد قوة الجزيرة الحرارية النهارية 0.7^{5} س، تزيد إلى 3.5^{5} س ليلا. وفي الربيع تزيد قوة الجزيرة الحرارية من 2.8^{5} س خلال النهار إلى 3.5^{5} س في الليل. كما تظهر الجزيرة الحرارية لمدن الدلتا أقوى في الليل (1.7^{5}

س) عن النهار (3.2^{5} س) خلال فصل الخريف.

يمكن تفسير هذا النمط اليومي لشدة الجزيرة الحرارية خلال الفصول الثلاثة إلى عاملين أساسين. العامل الأول هو تباين الخصائص الحرارية الطبيعية بين المدينة وظهيرها. فالمنشآت الحضرية تتكون من مواد تتسم بسعة تخزين حراري مرتفع Heat storage capacity، أي أن معظم الإشعاع الشمسي المكتسب نهارا يتم تخزينه وإعادة بثه في الليل. بينما يقوم الظهير الزراعي ببث الطاقة التي اكتسبها بشكل أكثر توازنا على مدار النهار والليل على حد سواء. ودائما ما يُفترض هذا العامل كسبب رئيسي لتكون الجزيرة الحرارية الليلية، وكذا سبب لظهور المدن كجزر حرارية معكوسة أو باردة أثناء النهار (Cai, G. et al., 2009). والجدير بالذكر أن هذا العامل هو السبب في ظهور الظهير الصحراوي أكثر حرارة من مدن الدلتا خلال النهار كما يوضح شكل (2). ويعود ذلك إلى أن الأسطح الصحراوية تتسم بسعة تخزين حراري منخفضة جدا، لذا فإنها تبث نهارا معظم ما اكتسبته من الإشعاع الشمسي، فتظهر أكثر حرارة من مدن الدراسة.

العامل الآخر هو تباين معدلات اكتساب الحرارة وفقدها في المدينة عن الظهير الزراعي. فالمدن قد تكتسب إشعاعا شمسيا خلال النهار بمعدلات تقل عن الظهير الزراعي، حيث يكون الظهير الزراعي ممتدا بشكل مستو دون وجود أي عوائق تحول دون وصول الشمس إلي كامل مسطحه، بينما تمثل مباني المدينة ومنشآتها عوائق أمام وصول الإشعاع الشمسي بشكل كامل إلى الطرق والشوارع، خاصة في المناطق ذات المباني الكثيفة والمرتفعة. ولذلك يُطلق على شوارع المدينة اسم "الخوانق الحضرية Urban Canyons". ولنفس السبب تقل معدلات الفقد الإشعاعي الحراري (معدلات التهوية) من شوارع المدينة عن الظهير الزراعي خلال الليل (Bourbia, F. & Boucheriba, F., 2010).

يلاحظ من جدول (3) وشكل (4) أيضا أن فصل الشتاء هو صاحب أكبر فارق بين قوة الجزيرتين النهارية والليلية، حيث يصل الفرق بينهما إلى 2.8^{5} س. ويقل هذا الفارق في الربيع إلى 0.7^{5} س فقط، وفي الخريف إلى 1.5^{5} س. ويمكن تفسير الفارق الكبير بين الجزيرتين الحراريتين النهارية والليلية في فصل الشتاء إلى تناقص قوة الجزيرة الحرارية النهارية نتيجة انخفاض مقدار الإشعاع الشمسي خلال هذا الفصل لأقل مستوياته السنوية كما سبق بيانه. بينما تزيد قوة الجزيرة الحرارية الليلية في فصل الشتاء بشكل أكبر من الخريف ومساو للربيع (رغم زيادة مقدار الإشعاع الشمسي في الفصلين عن فصل الشتاء) نتيجة زيادة حجم الانبعاثات الحرارية خلال ليالي الشتاء، وذلك لانخفاض درجة الحرارة وزيادة استهلاك الطاقة بشكل كثيف في عمليات تدفئة الجو.

يأتي فصل الصيف ليشذ عن بقية الفصول في النمط اليومي لقوة الجزيرة الحرارية بمدن الدلتا الرئيسة، حيث تتميز المدن الرئيسة خلال هذا الفصل بجزيرة حرارية أقوى

خلال النهار (4.6^{5} س) عن الليل (2.7^{5} س)، بفارق يصل إلى درجتين تقريبا (1.9^{5} س). ولا يختلف الصيف في ذلك عن بقية الفصول فحسب، بل إنه يختلف أيضا عن الحقيقة الأكثر استقرارا من أن الجزيرة الحرارية ظاهرة ليلية، وتظهر بشكل نموذجي خلال فصل الصيف.

ويمكن تفسير النمط اليومي لشدة الجزيرة الحرارية في الصيف واختلافه عن بقية الفصول في ضوء ما توصلت إليه دراسات مشابهه. فهناك بعض الكتابات التي وثقت ظهور الجزيرة الحرارية بشكل أقوى خلال النهار عن الليل. فالجزيرة الحرارية السطحية للمدينة Surface UHI تظهر خلال النهار والليل، ولكنها عادةً ما تكون أكثر قوة نهارا مع سطوع الشمس، بينما تبدو الجزيرة الحرارية الهوائية Atmospheric UHI ضعيفة نهارا، ثم تزداد قوتها ليلا مع غروب الشمس (EPA, http://www.epa.gov/). وأظهرت دراسة منطقة وادي كلانج Klang valley بماليزيا أن الجزيرة الحرارية الحضرية تكون أقوى خلال النهار، خاصة أثناء فترة هبوب الرياح الموسمية الشمالية الشرقية (من شهر نوفمبر إلى شهر مارس) (Shaharuddin, A. et al., 2014). وقد فسر ذلك في ضوء موقع المدن، حيث أشار إلى أن المدن الواقعة في العروض المدارية تتلقى مقدارا كبيرا من الإشعاع الشمسي يزيد بشكل كبير عن المدن الواقعة في العروض الوسطى والعليا.

أوضحت دراسة عن الجزر الحرارية للمدن المليونية بوسط أوروبا (Dezso, Z. et al., 2007) أيضا أن الجزر الحرارية أقوى في الليل عن النهار في فصلي الربيع والخريف، والعكس في فصل الصيف. وأعزى ذلك إلى القصر النسبي للنهار في الاعتداليين عن الصيف، وبسبب الزيادة النسبية للرطوبة وتكرار حدوث الطقس الملبد بالسحب، وهو ما لا يتوفر في دلتا النيل، والتي تتسم بسماء صافية خلال الصيف.

ثالثا: التباين المكاني لشدة الجزر الحرارية في المدن الرئيسة بدلتا نهر النيل.

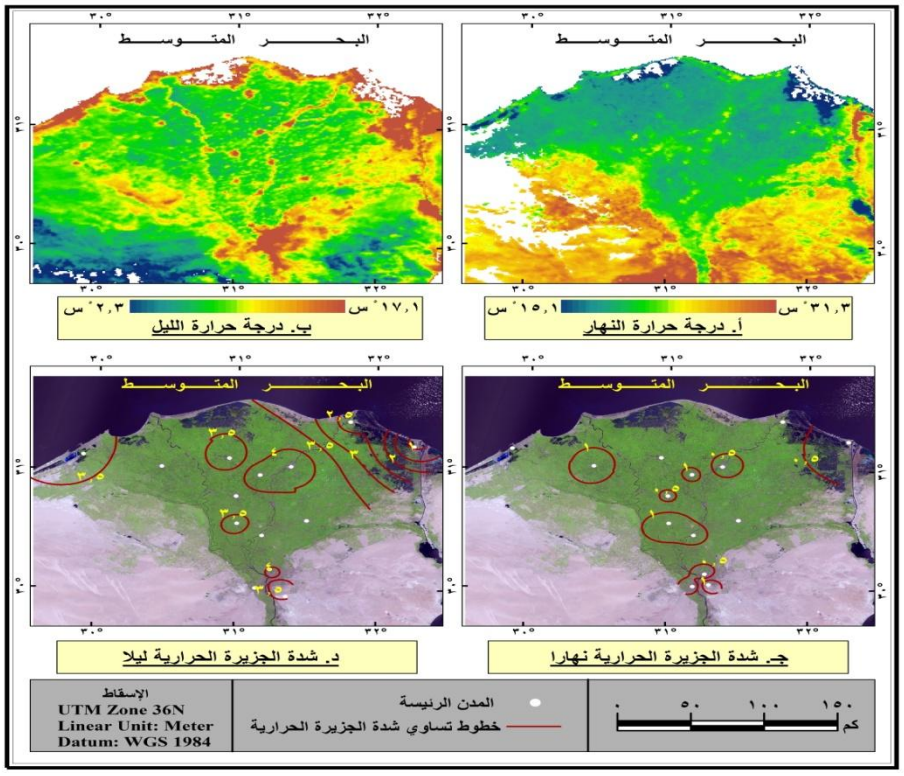
أ. فصل الشتاء.

يوضح شكل (5) توزيع درجة الحرارة وشدة الجزر الحرارية في المدن الرئيسة بدلتا نهر النيل نهارا وليلا خلال فصل الشتاء عام 2013. ويقدم جدول (4) تلخيصا كميا لشدة الجزر الحرارية ومؤشر التباين النباتي النسبي. يتضح من الوهلة الأولى من شكل (5-أ & 5-ب) أن المدن الرئيسة في دلتا النيل لا تظهر كجزر حرارية بارزة خلال النهار في فصل الشتاء (متوسط قوة الجزيرة 0.7^{5} س)، حيث يصعب ملاحظة حدود حرارية مميزة للمدن عن ظهيرها الزراعي. وتظهر المدن على الجانب الآخر بشكل واضح كجزر حرارية خلال الليل، حيث يصل الفارق الحراري بينها وبين الظهير الزراعي إلى 3.5^{5} س في المتوسط.

ويتضح من فحص توزيع شدة الجزيرة الحرارية (شكل 5-جـ & 5-د) أن معظم خطوط التساوي تنغلق على نفسها، وهو ما يشير إلى عدم وجود نمط توزيعي واضح لقوة الجزر الحرارية في فصل الشتاء، سواء خلال النهار أو الليل. ورغم ذلك يمكن استخلاص بعض من سمات هذا التوزيع ونمطه المكاني.

تظهر مدينة القاهرة كأقوى جزيرة حرارية في منطقة الدراسة في نهار فصل الشتاء، حيث يصل الفارق الحراري بين المدينة (22.8^{5} س) والظهير الزراعي (21.4^{5} س) إلى 1.4^{5} س. ويتفق ذلك وكون القاهرة أكبر التجمعات الحضرية حجما (8.7 مليون نسمة) وامتدادا (358.2 كم^{2}) في المنطقة. وتزيد قوة الجزيرة الحرارية للقاهرة ليلا إلى 3.1^{5} س، إلا أنها ليست الأقوى كما كانت

خلال النهار، ولكنها تمثل واحدة من أضعف الجزر الحرارية الليلية مقارنة بغيرها من المدن، حيث تقل قوتها عن كل المدن الأخرى، فيما عدا الجزر الحرارية لمدن كفر الشيخ (3.1 ^{5} س) ودمياط (2.4 ^{5} س) وبورسعيد (0.9 ^{5} س).



المصدر: مرئيات Terra MODIS الملتقطة في شهور الشتاء.

شكل (5) توزيع درجة الحرارة وشدة الجزر الحرارية في دلتا نهر النيل نهارا وليلا خلال فصل الشتاء عام 2013.

جدول (4) شدة الجزر الحرارية ومؤشر التباين النباتي النسبي في المدن الرئيسة بدلتا نهر النيل وظهيرها الزراعي نهارا وليلا خلال فصل الشتاء عام 2013.

المدينة	درجة الحرارة نهارا (س)			درجة الحرارة ليلا (س)			شدة الجزيرة اليومية (س)	مؤشر NDVI	
	المدينة	الظهير الزراعي	شدة الجزيرة	المدينة	الظهير الزراعي	شدة الجزيرة		المدينة	الظهير الزراعي
القاهرة	22.8	21.4	1.4	13.6	10.5	3.1	2.3	0.14	0.55
الجيزة	21.8	21.5	0.3	14.6	10.9	3.7	2.0	0.15	0.58

شبرا الخيمة	22.0	21.8	0.2	14.7	13.6	10.5	4.2	2.2	0.15	0.57
بنها	21.7	20.6	1.1	13.4	12.6	9.6	3.8	2.5	0.18	0.67
شبين الكوم	21.1	19.8	1.3	12.7	11.8	9.4	3.3	2.3	0.2	0.73
الزقازيق	21.1	20.3	0.8	13.6	12.6	9.6	4.0	2.4	0.18	0.73
طنطا	21.2	20.8	0.4	13.4	12.4	9.4	4.0	2.2	0.17	0.68
المحلة الكبرى	21.0	19.9	1.1	13.5	12.5	9.2	4.3	2.7	0.17	0.74
المنصورة	20.5	20.2	0.3	13.9	12.9	9.5	4.4	2.4	0.16	0.70
دمنهور	20.8	19.7	1.1	12.9	11.9	8.9	4.0	2.6	0.19	0.74
كفر الشيخ	20.5	19.5	1.0	12.2	11.2	9.1	3.1	2.1	0.2	0.74
الإسكندرية	20.6	19.9	0.7	13.9	12.9	10.7	3.2	2.0	0.15	0.64
بورسعيد	20.6	20.5	0.1	14.0	13.1	13.1	0.9	0.5	0.13	0.50
دمياط	20.4	19.8	0.6	14.2	13.2	11.8	2.4	1.5	0.17	0.63
المتوسط	21.1	20.4	0.7	13.6	12.6	10.2	3.5	2.1	0.17	0.66

المصدر: التحليلات المكانية النطاقية GIS Spatial Zonal Analysis لدرجات الحرارة ومؤشر التباين النباتي النسبي NDVI.

تمثل مدينة بورسعيد حالة مميزة في التوزيع المكاني لشدة الجزيرة الحرارية في مدن دلتا النيل، حيث اتسمت المدينة بأضعف جزيرة حرارية على الإطلاق خلال فصل الشتاء، سواء خلال النهار أو خلال الليل. ففي النهار غاب الفارق الحراري تقريبا بين بورسعيد (متوسط درجة الحرارة 20.6 ^{5}س) وظهيرها الزراعي (متوسط درجة الحرارة 20.5 ^{5}س)، وهو ما يسمى بالجزيرة الحرارية شبه الغائبة Near-absent UHI (Kim, Y.H. & Baik, J.J., 2004). وفي الليل كان الفارق الحراري 0.9 ^{5}س، حيث وصلت درجة الحرارة في المدينة إلى 14.0 ^{5}س، وفي الظهير الزراعي إلى 13.1 ^{5}س.

ويمكن تفسير اختفاء الجزيرة الحرارية لمدينة بورسعيد في نهار فصل الشتاء – رغم أنها خامس أكبر المدن حجما بعدد سكان 570.6 ألف نسمة، والرابعة من حيث الامتداد المكاني بمساحة 38.1 كم^{2} – إلى موقعها الساحلي الذي يجعلها مجالا لهبوب الرياح العامة الباردة القادمة من البحر، بجانب نشاط نسيم البحر خلال النهار، مما يساهم في زيادة اختلاط الأهوية وبالتالي تجانسها حراريا. وتتسم بورسعيد – كمدينة يحدها البحر المتوسط من الشمال – بظهير زراعي يقع إلى الجنوب منها. لذا فإن الرياح الشمالية التي تهب على المدينة تعمل على نقل جزء من المحتوى الحراري للمدينة إلى الظهير الزراعي الجنوبي، وهو ما يساهم في رفع درجة حرارة الظهير نسبيا، وبالتالي يقل الفارق الحراري بينهما.

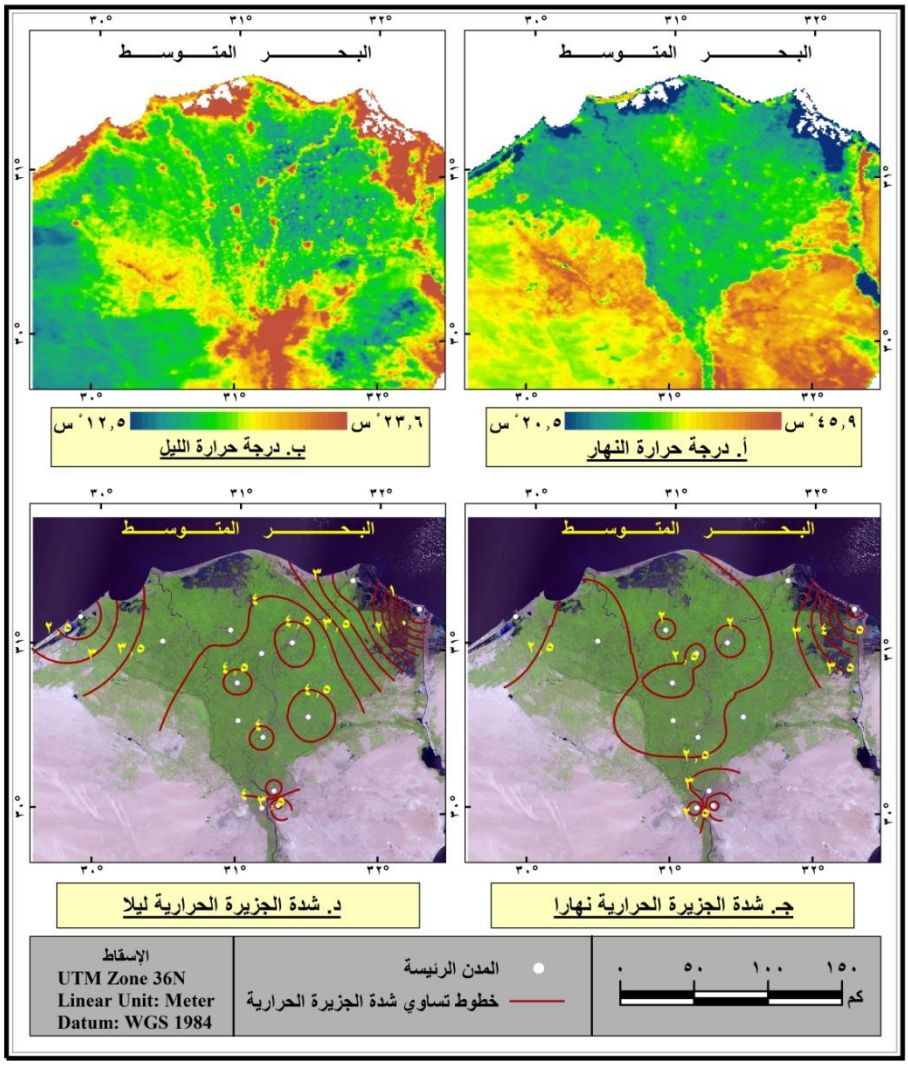
وينسحب ما سبق أيضا على مدينتي دمياط والإسكندرية الساحليتين. ففي دمياط لا تزيد قوة الجزيرة الحرارية نهارا عن 0.6 ^{5}، وفي الإسكندرية عن 0.7 ^{5}س. وتمثل مدينة دمياط في الليل ثاني أضعف الجزر الحرارية في الدلتا بعد مدينة بورسعيد بقوة تبلغ 2.4 ^{5}س. وتصل قوة الجزيرة الحرارية لمدينة الإسكندرية ليلا إلى 3.2 ^{5}س، لتكون خامس أضعف الجزر الحرارية بعد بورسعيد ودمياط والقاهرة وكفر الشيخ. وقد وثقت دراسة

(Kim,Y.H. & Baik, J.J., 2004) تأثير الموقع الساحلي في إضعاف الجزر الحرارية في كوريا الجنوبية. إجمالا، تزيد قوة الجزيرة الحرارية في المدن الساحلية ليلا عن النهار للأسباب العامة السابق ذكرها عند تناول التباين الزمني للجزر الحرارية، إضافة إلى نشاط نسيم البحر نهارا وضعفه خلال الليل نتيجة لانعكاس النمط التفصيلي للضغط الجوي بين المدن والبحر المتوسط.

ب. فصل الربيع.

يظهر من توزيع درجة الحرارة وشدة الجزيرة الحرارية خلال فصل الربيع عام 2013 (شكل 6-أ & 6-ب) أن المدن الرئيسة في دلتا النيل تستمر على ذات النمط اليومي الذي ظهر في فصل الشتاء لقوة جزرها الحرارية، حيث تضعف قوة الجزر الحرارية نهارا، مقابل وضوحها بشكل أكبر خلال الليل. وإن كانت قوة الجزر الحرارية أقوى في فصل الربيع عما كانت عليه خلال فصل الشتاء، حيث يبلغ متوسط شدة الجزر الحرارية نهارا نحو 2.8^{5} س (مقابل 0.7^{5} س في الشتاء)، ويزيد متوسطها في الليل إلى 3.5^{5} س، وهو نفس قيمة متوسط شدة الجزيرة الحرارية الليلية في الشتاء. ورغم أن المتوسط العام لشدة الجزيرة الحرارية في الليل أعلى منه في النهار، إلى أن هناك بعض المدن التي ظهرت جزيرتها الحرارية النهارية أقوى من الليلية، وهي مدن القاهرة (4.2^{5} س & 2.9^{5} س على الترتيب) والإسكندرية (2.3^{5} س & 2.2^{5} س على الترتيب) ودمياط (2.5^{5} س & 2.2^{5} س على الترتيب).

وتعود زيادة قوة الجزيرة الحرارية النهارية في مدن الدلتا خلال فصل الربيع بدرجة أكبر من فصل الشتاء في الأساس إلى زيادة مقدار الإشعاع الشمسي في الأول (متوسط 22.38 ميجا جول/ متر^{2}/يوم) عن الثاني (متوسط 12.38 ميجا جول/ متر^{2}/يوم) كما سبق ذكره سابقا. أما تساوي قوة الجزيرة الحرارية الليلية في كل من الفصلين فيمكن أن يكون ناجما عن زيادة في قوة الجزيرة الحرارية الشتوية جعلها تصل لمستوى مثيلتها الربيعية، وذلك نتيجة لزيادة استهلاك الطاقة لأغراض تدفئة الجو ذي الحرارة المنخفضة خلال الليالي الشتوية، وهو ما لا يحدث خلال فصل الربيع الأكثر اعتدالا. أي أن زيادة مقدار الإشعاع الشمسي في فصل الربيع عوضتها زيادة استهلاك الطاقة في فصل الشتاء.



المصدر: مرئيات Terra MODIS الملتقطة في شهور الربيع.

شكل (6) توزيع درجة الحرارة وشدة الجزر الحرارية في دلتا نهر النيل نهارا وليلا خلال فصل الربيع عام 2013.

جدول (5) شدة الجزر الحرارية ومؤشر التباين النباتي النسبي في المدن الرئيسة بدلتا نهر النيل وظهيرها الزراعي نهارا وليلا خلال فصل الربيع عام 2013.

المدينة	درجة الحرارة نهارا (س)			درجة الحرارة ليلا (س)			شدة الجزيرة اليومية (س)	مؤشر NDVI	
	المدينة	الظهير الزراعي	شدة الجزيرة	المدينة	الظهير الزراعي	شدة الجزيرة		المدينة	الظهير الزراعي
القاهرة	37.4	33.2	4.2	21.8	18.9	2.9	3.6	0.14	0.51
الجيزة	34.7	32.5	2.2	22.2	18.3	3.9	3.1	0.15	0.54
شبرا الخيمة	36.1	32.7	3.4	21.8	16.9	4.9	4.2	0.15	0.53
بنها	34.7	32.6	2.1	20.0	16.1	3.9	3.0	0.18	0.54
شبين الكوم	34.6	32.5	2.1	19.7	15.7	4.0	3.1	0.16	0.53
الزقازيق	34.9	32.3	2.6	19.8	14.8	5.0	3.8	0.16	0.56
طنطا	34.7	32.0	2.7	19.7	15.0	4.7	3.7	0.15	0.56
المحلة الكبرى	34.5	31.9	2.6	19.2	14.9	4.3	3.5	0.17	0.58
المنصورة	33.6	31.9	1.7	19.6	14.6	5.0	3.4	0.15	0.58
دمنهور	34.4	31.4	3	19.0	15.5	3.5	3.3	0.17	0.58
كفر الشيخ	34.7	32.8	1.9	18.9	15.1	3.8	2.9	0.19	0.55
الاسكندرية	32.4	30.1	2.3	19.5	17.3	2.2	2.3	0.14	0.57
بورسعيد	31.4	25.8	5.6	19.5	20.4	**0.9-**	2.4	0.12	0.58
دمياط	32.4	29.9	2.5	19.6	17.4	2.2	2.4	0.18	0.58
المتوسط	34.3	31.5	2.8	20.0	16.5	3.5	3.2	0.16	0.56

المصدر: التحليلات المكانية النطاقية GIS Spatial Zonal Analysis لدرجات الحرارة ومؤشر التباين النباتي النسبي NDVI.

يتضح من التوزيع المكاني لشدة الجزر الحرارية (شكل 6-جـ & 6-د) أن مدينة القاهرة تستمر كأقوى جزيرة حرارية في الدلتا – عدا مدينة بورسعيد لظروف مرتبطة بموقعها – خلال نهار فصل الربيع كما كانت خلال نهار الشتاء. ويصل متوسط درجة الحرارة في المدينة إلى 37.4[5] س، بفارق حراري 4.2[5] س عن الظهير الزراعي، والذي يبلغ متوسط درجة حرارته 33.2[5] س. وما تزال مدينة القاهرة خلال الربيع واحدة من أضعف الجزر الحرارية الليلية مقارنة بغيرها من المدن، وهو نفس ما كانت عليه في الشتاء. وتصل قوة الجزيرة الحرارية لمدينة القاهرة خلال الليل إلى 2.9[5] س، حيث يبلغ متوسط درجة حرارتها 21.8[5] س، ومتوسط درجة حرارة الظهير الزراعي 18.9[5] س. وبذلك تقل قوة الجزيرة الحرارية للقاهرة عن كل مدن الدلتا محل الدراسة، فيما عدا المدن ذات الموقع الساحلي التي تتسم بجزر حرارية هي الأضعف خلال ليالي الربيع (2.2[5] س في الإسكندرية ودمياط، -0.9 س في بورسعيد).

والوقع أن هذا النمط اليومي لجزيرة القاهرة الحرارية قد يدعو إلى القول بأن الانبعاثات الحرارية من المصادر البشرية المختلفة هي السبب الرئيسي في ظهور القاهرة كأقوى الجزر الحرارية نهارا خلال فصلي الشتاء والربيع، حيث تضم القاهرة قاعدة صناعية ضخمة، وكم كبير جدا من وسائل النقل، ومنطقة أعمال مركزية، ومناطق تجارية أخرى متعددة ومنتشرة، واستهلاك كبير من الطاقة الكهربائية في الاستخدامات المنزلية يفوق أي مدينة أخرى في دلتا النيل. وتضعف الجزيرة الحرارية للقاهرة ليلا بالنسبة لبقية المدن بسبب توقف نسبة كبيرة من هذه الانبعاثات. أضف لما سبق أن فحص المرئيات الفضائية لفصلي الشتاء والربيع (شكلا 5 & 6) أظهر أن الظهير الزراعي لمدينة القاهرة (ذات الحجم الضخم) يتأثر بتمدد جزيرتها الحرارية خارج نطاقها العمراني، لتصل إلى الظهير الزراعي وتساهم في رفع درجة حرارته، وهو ما يعطي تقديرا متدنيا لقوة الجزيرة الحرارية فيها. وقد أشارت دراسات حديثة (Zhou, D. et al., 2015) إلى هذه الظاهرة في مدن الصين.

تواصل مدينة بورسعيد ظهورها المميز بين مدن الدراسة فيما يتعلق بالتوزيع المكاني لشدة الجزيرة الحرارية، ولكن بشكل مختلف عما كانت عليه شتاءً. تمثل مدينة بورسعيد أقوى جزيرة حرارية خلال نهار فصل الربيع في دلتا النيل، بفارق حراري يصل إلى 5.6^{5} س (متوسط درجة حرارة المدينة 31.4^{5} س، وفي الظهير الزراعي 25.8^{5} س). وفي الليل ينقلب الوضع الحراري لتبدو مدينة بورسعيد كجزيرة حرارية معكوسة Reversed UHI، حيث تقل درجة حرارة المدينة (19.5^{5} س) عن درجة حرارة الظهير الزراعي (20.4^{5} س) بفارق -0.9^{5} س. ويعُزى هذا النمط في الأساس إلى طبيعة وظروف الظهير الزراعي لمدينة بورسعيد كما توضح الخرائط. فالظهير الزراعي لمدينة بورسعيد محاط بالمياه من كل جانب تقريبا، سواء مياه بحيرة المنزلة أو مياه المستنقعات والبرك الموسمية. لذا فإن الخصائص الحرارية لظهير بورسعيد الزراعي يحمل السمات الحرارية للنباتات والمياه معا. فخلال النهار تنخفض درجة حرارة الظهير إلى 25.8^{5} س، وهو مستوى حراري منخفض جدا نتيجة تأثير المياه. بينما درجة حرارة الظهير الزراعي في بقية المدن يزيد بأكثر من ست درجات عن مثيله في الظهير الزراعي لبورسعيد، ويصل في ظهيري الإسكندرية ودمياط ذات الظروف القريبة من بورسعيد إلى 30.1^{5} س & 29.9^{5} س على الترتيب. وخلال الليل ترتفع درجة حرارة الظهير الزراعي لمدينة بورسعيد بسبب انتشار المياه المحتفظة بالحرارة إلى 20.4^{5} س، لتمثل أعلى درجة حرارة في كل الأظهر الزراعية للمدن محل الدراسة، وتزيد عن درجة حرارة الظهير الزراعي لأقرب المدن (الإسكندرية ودمياط) بحوالي ثلاث درجات كاملة (17.3^{5} س & 17.4^{5} س على الترتيب).

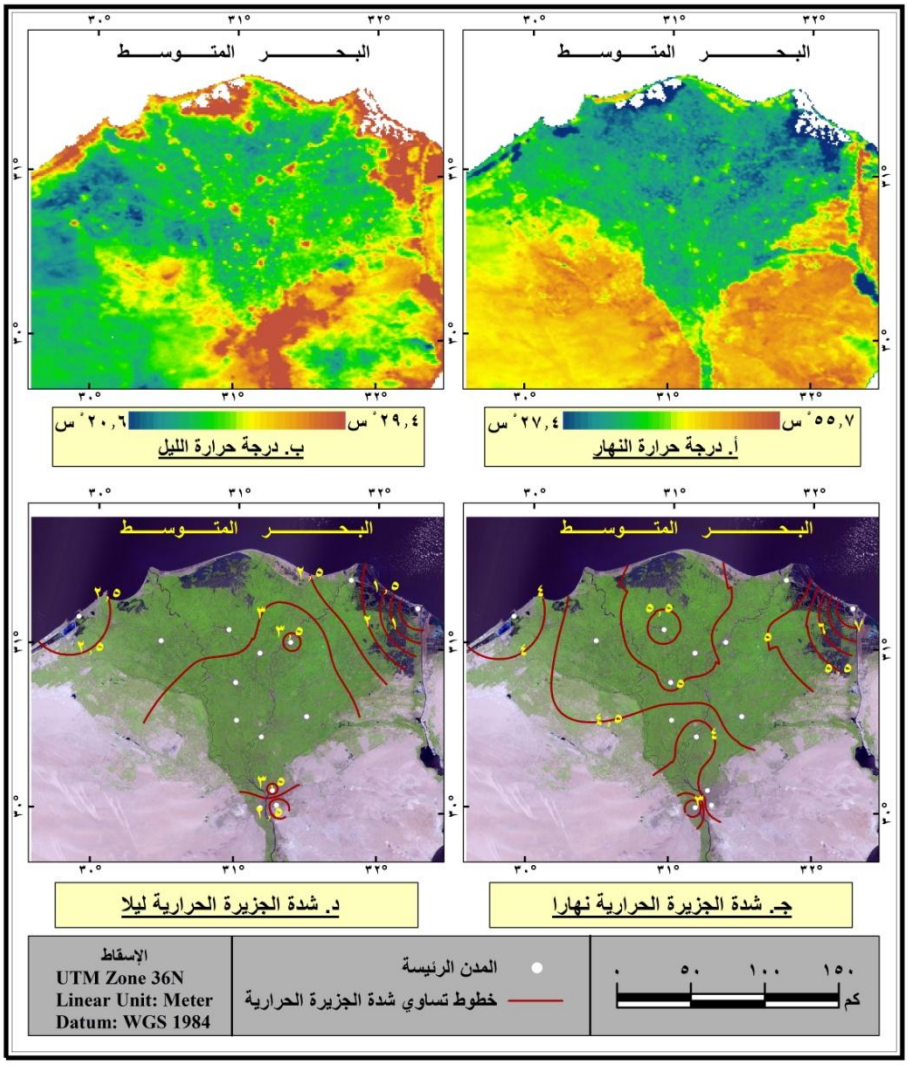
تستمر مدن وسط الدلتا (الزقازيق، المنصورة، طنطا، المحلة الكبرى) تمثل أقوى الجزر الحرارية في الدلتا خلال الليل (5.0^{5} س & 5.0^{5} س & 4.7^{5} س & 4.3^{5} س على الترتيب)، متخطية بذلك المدن المليونية والكبرى (مدينة القاهرة 2.9^{5} س، الجيزة 3.9^{5} س، الإسكندرية 2.2^{5} س، بورسعيد -0.9^{5} س). كما تواصل شبرا الخيمة ظهورها كأحد أقوى الجزر الليلية (4.9^{5} س) كما كانت في فصل الشتاء (4.2^{5} س). ويبدو أن ظهور شبرا الخيمة كذلك يعود إلى زيادة حجم الانبعاثات الحرارية من العدد الكبير من المنشآت الصناعية الموجود بها، والتي تمثل أحد أكبر المناطق الصناعية في مصر.

والحقيقة أنه لا يمكن تفسير زيادة قوة الجزيرة الحرارية للمدن الوسطى بدرجة أكبر من المدن الكبرى خلال الليل بتباين الكثافة النباتية في الظهير الزراعي لتلك المدن كما تم تناوله في فصل الشتاء، حيث يلاحظ من جدول (5) أن متوسط مؤشر التباين النباتي النسبي NDVI في ظهير المدن المتوسطة (0.58) يزيد بنسبة بسيطة (5.5٪)، عما هو عليه في الظهير الزراعي للمدن الكبرى (0.55). لذا فقد يعود ذلك ـ كما ذُكر أنفا ـ إلى تمدد الجزيرة الحرارية الليلية للقاهرة إلى الظهير الزراعي، مما يعطي تقديرات متدنية لقوتها.

ج.فصل الصيف.

يحتل فصل الصيف مكانة متميزة بين بقية الفصول فيما يتعلق بسمات توزيع درجة الحرارة وشدة الجزيرة في مدن الدراسة، كما يظهر من شكل (7) وجدول (6). تبدو أولى ملامح الاختلاف بين الصيف وبقية الفصول في ظهور الجزر الحرارية لمدن الدلتا محل الدراسة كأقوى ما تكون خلال هذا الفصل، حيث يصل متوسط شدة الجزيرة الحرارية للمدن ككل إلى 3.7^{5} س. كما تتسم مدن الدلتا خلال هذا الفصل بوضوح جزرها الحرارية نهارا وليلا على حد سواء كما يوضح شكل (7-جـ & 7-د)، حيث يبلغ متوسط شدة الجزيرة الحرارية نهارا نحو 4.6^{5} س، وليلا 2.7^{5} س. ومن ثم يختلف فصل الصيف عن بقية الفصول في زيادة قوة الجزيرة الحرارية نهارا عما هي عليه في الليل لأسباب سبق تناولها. ويتضح من جدول (6) أن هذا النمط اليومي يظهر في كل المدن، عدا مدينة الجيزة (2.5^{5} س نهارا & 2.9^{5} س ليلا).

تظهر مدينة بورسعيد ـ كما كانت في الربيع ـ كأقوى جزيرة حرارية نهارية بشدة تبلغ 7.4^{5} س (درجتا الحرارة 40.1^{5} س، 32.7^{5} س في المدينة والظهير على الترتيب)، وتختفي تماما في الليل، حيث تتساوى درجة حرارة المدينة مع مثيلتها في الظهير لتبلغ 26.9^{5} س. ويبدو أن ظروف الظهير الزراعي ما تزال تلعب الدور الأبرز في ظهور الجزيرة الحرارية لبورسعيد بهذا النمط اليومي، حيث يحمل هذا الظهير السمات الحرارية للنباتات والمياه معا. ويبدو هذا الوضع المختلف لبورسعيد عند مقارنتها بمدينتي دمياط والإسكندرية الساحليتين، حيث يتمتعان بشدة جزيرة حرارية أكثر توازنا على مدار اليوم، فتصل شدة الجزيرة الحرارية نهارا إلى 4.5^{5} س، 3.5^{5} س، وليلا إلى 2.0^{5} س، 2.2^{5} س على الترتيب. وبوجه عام يؤثر الموقع الساحلي في عدم ظهور هذه المدن كجزر حرارية رئيسة، رغم الحجم الكبير لمدينة مثل الإسكندرية (ثاني أكبر المدن سكانا ومساحة).



المصدر: مرئيات Terra MODIS الملتقطة في شهور الصيف.

شكل (7) توزيع درجة الحرارة وشدة الجزر الحرارية في دلتا نهر النيل نهارا وليلا خلال فصل الصيف عام 2013.

جدول (6) شدة الجزر الحرارية ومؤشر التباين النباتي النسبي في المدن الرئيسة بدلتا نهر النيل وظهيرها الزراعي نهارا وليلا خلال فصل الصيف عام 2013.

المدينة	درجة الحرارة نهارا (س)			درجة الحرارة ليلا (س)			شدة الجزيرة اليومية	مؤشر NDVI	
	المدينة	الظهير الزراعي	شدة الجزيرة	المدينة	الظهير الزراعي	شدة الجزيرة		المدينة	الظهير الزراعي
القاهرة	43.4	38.9	4.5	28.4	26.4	2.0	3.3	0.15	0.50
الجيزة	42.3	39.8	2.5	28.4	25.5	2.9	2.7	0.16	0.49
شبرا الخيمة	43.4	39.2	4.2	28.4	24.7	3.7	4.0	0.15	0.52
بنها	40.8	37.3	3.5	26.5	23.3	3.2	3.4	0.2	0.58
شبين الكوم	40.6	36.4	4.2	26.1	22.9	3.2	3.7	0.18	0.59
الزقازيق	41.0	36.0	5.0	26.8	23.3	3.5	4.3	0.17	0.62
طنطا	41.0	35.9	5.1	26.3	23.1	3.2	4.2	0.16	0.60
المحلة الكبرى	40.6	35.2	5.4	26.2	23.2	3.0	4.2	0.17	0.63
المنصورة	40.2	35.4	4.8	26.7	23.1	3.6	4.2	0.15	0.63
دمنهور	40.9	36.0	4.9	25.9	23.0	2.9	3.9	0.17	0.61
كفر الشيخ	41.0	35.2	5.8	25.6	22.9	2.7	4.3	0.18	0.65
الإسكندرية	38.7	35.2	3.5	26.2	24.0	2.2	2.9	0.14	0.58
بورسعيد	40.1	32.7	7.4	26.9	26.9	0.0	3.7	0.13	0.56
دمياط	40.6	36.1	4.5	26.6	24.6	2.0	3.3	0.17	0.58
المتوسط	41.0	36.4	4.6	26.8	24.1	2.7	3.7	0.16	0.58

المصدر: التحليلات المكانية النطاقية GIS Spatial Zonal Analysis لدرجات الحرارة ومؤشر التباين النباتي النسبي NDVI.

يتضح من شكل (7–جـ & 7–د) أن النمط المكاني لشدة الجزيرة الحرارية قد تغير خلال الصيف عما كان عليه في الفصلين السابقين، فلم تعد مدينة القاهرة (شدة الجزيرة الحرارية 4.5^{5} س) أقوى جزيرة حرارية نهارية في الدلتا كما كانت في الشتاء والربيع، بل تخطاها في القوة المدن الأقل حجما في وسط الدلتا، وهي الزقازيق (5.0^{5} س) والمنصورة (4.8^{5} س) وطنطا (5.1^{5} س) والمحلة الكبرى (5.4^{5} س) وكفر الشيخ (5.8^{5} س) ودمنهور (4.9^{5} س). وقد يُفسر ذلك في ضوء ما ذكره (Memon, R. A., et al, 2009) من أن انخفاض شدة الجزيرة الحرارية في هونج كونج صباحا قد يعود إلى الدخان والجسيمات الناجمة عن وسائل النقل، والتي يمكن أن تقلل من الإشعاع الشمسي الواصل للأرض. وتضم القاهرة وحدها 1.85 مليون مركبة، أي ما يقرب من ثلث عدد المركبات في مصر، والبالغ عددها 5.85 مليون مركبة (الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء، 2010).

ويستمر هذا النمط سائدا خلال الليل كما كان في الشتاء والربيع، حيث تقل قوة الجزر الحرارية للمدن كبيرة الحجم في الجنوب (القاهرة 2.0^{5} س، والجيزة 2.9^{5} س) والشمال (الإسكندرية 2.2^{5} س ودمياط 2.0^{5} س وبورسعيد 0.0^{5} س) عن قوة الجزيرة الحرارية للمدن الأقل حجما في الوسط (بنها وشبين الكوم 3.2^{5} س، والزقازيق 3.5^{5} س، والمنصورة 3.6^{5} س، وطنطا 3.2^{5} س، والمحلة الكبرى 3.0^{5} س).

د. فصل الخريف.

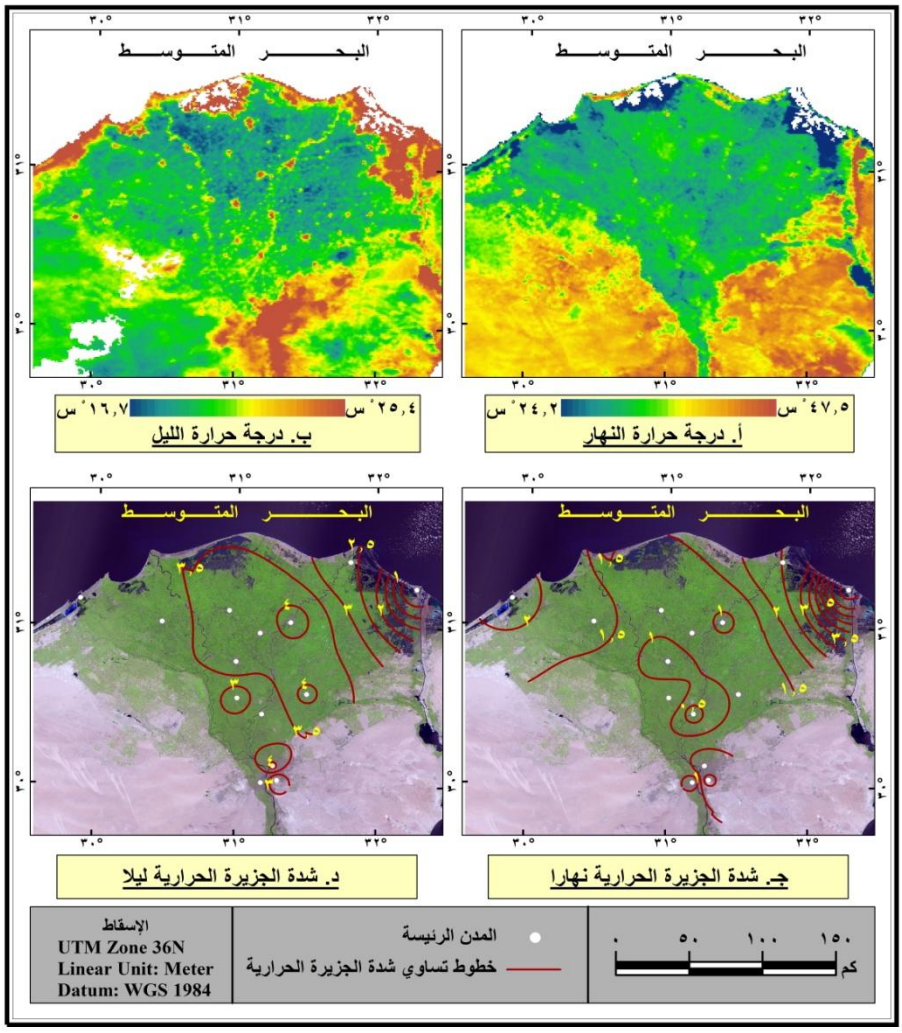
يأتي فصل الخريف في أعقاب فصل الصيف بظروف حرارية حضرية مختلفة تماما عما كان سائدا في الصيف، وبنمط مكاني وزمني يكاد يكون الخريف معه صورة كربونية من فصل الشتاء فيما يتعلق بتوزيع درجة الحرارة وشدة الجزر الحرارية في المدن الرئيسة بدلتا النيل، ولكن بقيم تزيد غالبا في فصل الخريف عما هي عليه في فصل الشتاء، كما يوضح شكل (8) وجدول (7).

يظهر من الشكل أن المدن محل الدراسة تظهر كجزر حرارية أقوى وأوضح في الليل (3.2^{5} س) عنها في النهار (1.7^{5} س). كما يظهر نمطا مكانيا (شكل 8-جـ & 8-د) يتمثل نهارا في انخفاض قوة الجزر الحرارية لمدن وسط الدلتا (بنها 0.3^{5} س، طنطا 0.5^{5} س، المنصورة 0.9^{5} س، الزقازيق وكفر الشيخ 1.0^{5} س) وتزيد قوة الجزر كلما اتجهنا نحو المدن الساحلية شمالا (بورسعيد 6.2^{5} س، دمياط 2.5^{5} س، الإسكندرية 2.3^{5} س)، وكلما اتجهنا جنوبا حتى تصل قوة الجزيرة الحرارية للقاهرة إلى 2.2^{5} س. وفي الليل ينعكس هذا النمط المكاني لتبدو مدن قلب الدلتا أقوى في جزرها الحرارية (بنها 3.1^{5} س، طنطا 3.8^{5} س، المنصورة 4.3^{5} س، الزقازيق 4.1^{5} س، وكفر الشيخ 3.9^{5} س) وتقل قوة الجزر الحرارية للمدن الساحلية، وفي المدن الجنوبية، عدا مدينة شبرا الخيمة (4.1^{5} س).

ولا يخرج تفسير النمط المكاني السابق عما تم تناوله في الفصول المناخية السابقة، حيث المؤثرات الساحلية في الشمال ودورها في خفض قوة الجزر الحرارية. وتبدو الجزيرة الحرارية الليلية للقاهرة من أضعف الجزر في الدلتا لتناقص الانبعاثات الحرارية عما كانت عليه نهارا، وتمدد الجزيرة الحرارية للمدينة خارج نطاقها العمراني وصولا إلى الظهير الزراعي. وتظل مدينة بورسعيد محتفظة بسماتها الحرارية المميزة كأقوى الجزر الحرارية نهارا (6.2^{5} س) وأضعفها ليلا (0.1^{5} س).

ينتهي هذا المبحث الذي تناول التباين المكاني لشدة الجزر الحرارية في المدن الرئيسة بدلتا النيل وقد تبين أن حجم السكان أو الامتداد العمراني ـ كمؤشرين على حجم المدن ـ لم يظهرا كمؤثر قوي في التباين المكاني لشدة الجزر الحرارية للمدن محل الدراسة، إلا في بعض الحالات، كما هو الحال في ظهور القاهرة كواحدة من أقوى الجزر الحرارية النهارية خلال فصول الشتاء والربيع والخريف. وهي نتيجة ظهرت أيضا في المدن الكورية (Kim,Y.H. & Baik, J.J., 2004). ويمكن إرجاع ذلك إلى حقيقة هامة، وهي أن الجزر الحرارية كظاهرة جغرافية تتأثر بمجموعة كبيرة من العوامل، لذا فهناك متغيرات أخرى يجب أخذها في الاعتبار عند تحليل العلاقة بين قوة الجزر الحرارية وحجم المدينة، مثل الموقع الجغرافي ومعدلات التحضر والكثافة السكانية والعمرانية والتركيب الحضري للمدينة وتخطيطها الداخلي والظروف المناخية لكل مدينة وتباين الكثافة النباتية للظهير الزراعي حول كل مدينة وتمدد الجزيرة الحرارية للمدينة متخطية حدودها العمرانية

لتصل إلى الظهير الزراعي.



المصدر: مرئيات Terra MODIS الملتقطة في شهور الخريف.

شكل (8) توزيع درجة الحرارة وشدة الجزر الحرارية في دلتا نهر النيل نهارا وليلا خلال فصل الخريف عام 2013.

جدول (7) شدة الجزر الحرارية ومؤشر التباين النباتي النسبي في المدن الرئيسة بدلتا نهر النيل وظهيرها الزراعي نهارا وليلا خلال فصل الخريف عام 2013.

المدينة	درجة الحرارة نهارا (س)			درجة الحرارة ليلا (س)			شدة الجزيرة اليومية (س)	مؤشر NDVI	
	المدينة	الظهير الزراعي	شدة الجزيرة	المدينة	الظهير الزراعي	شدة الجزيرة		المدينة	الظهير الزراعي
القاهرة	34.9	32.7	2.2	23.9	21.3	2.6	2.4	0.14	0.51
الجيزة	33.2	32.5	0.7	24.1	20.9	3.2	2.0	0.15	0.52
شبرا الخيمة	34.0	32.2	1.8	24.1	20.0	4.1	3.0	0.14	0.52
بنها	33.1	32.8	0.3	22.5	19.4	3.1	1.7	0.18	0.49
شبين الكوم	32.9	31.4	1.5	21.7	19.0	2.7	2.1	0.17	0.55
الزقازيق	32.8	31.8	1.0	22.4	18.3	4.1	2.6	0.16	0.51
طنطا	33.2	32.7	0.5	22.2	18.4	3.8	2.2	0.15	0.50
المحلة الكبرى	33.1	31.7	1.4	21.8	18.1	3.7	2.6	0.16	0.54
المنصورة	32.9	32.0	0.9	22.6	18.3	4.3	2.6	0.15	0.54
دمنهور	33.4	31.6	1.8	21.7	18.5	3.2	2.5	0.16	0.55
كفر الشيخ	33.9	32.9	1.0	21.8	17.9	3.9	2.5	0.17	0.50
الإسكندرية	32.4	30.1	2.3	23.0	20.0	3.0	2.7	0.14	0.58
بورسعيد	33.3	27.1	6.2	23.2	23.1	0.1	3.2	0.12	0.54
دمياط	32.7	30.2	2.5	22.7	20.2	2.5	2.5	0.16	0.55
المتوسط	33.3	31.6	1.7	22.7	19.5	3.2	2.5	0.15	0.53

المصدر: التحليلات المكانية النطاقية GIS Spatial Zonal Analysis لدرجات الحرارة ومؤشر التباين النباتي النسبي NDVI.

وتجدر الإشارة أخيرا إلى أن بعض الدراسات أظهرت زيادة قوة الجزر الحرارية في المدن الأكثر سكانا، كما في المدن المليونية بوسط أوروبا (Dezso, Z. et al., 2007)، وفي مدينة بكين (Liu, W. et al., 2007). وفي كل الأحوال فإن الخروج بنتائج كمية دقيقة لتأثير عامل واحد (حجم المدينة) في ظاهرة (الجزيرة الحرارية) تتأثر بمجموعة متشابكة من العوامل يتطلب تحييدا للعوامل غير المطلوب دراستها، وهو ما يعرف في البحث العلمي بـ "ضبط المتغيرات غير التجريبية"، وهو ما يمكن أن يكون مجالا لدراسة تفصيلية أخرى.

النتائج والتوصيات.

توصلت الدراسة إلى مجموعة من النتائج يمكن صياغتها في النقاط التالية:

1. برزت الجزيرة الحرارية الحضرية كظاهرة ثابتة وبارزة في دلتا النيل، حيث ظهرت كل المدن أكثر حرارة من ظهيرها الزراعي على كل المستويات الزمنية، فيما عدا استثناءات بسيطة لمدينة بورسعيد لأسباب تتعلق بموقعها وسمات ظهيرها الزراعي.
2. فُسرت سيادة الجزر الحرارية في مدن الدراسة من خلال تباين المواد المكونة للعمران الحضري عن الظهير الزراعي، إضافة إلى دور الانبعاثات الحرارية من المصادر البشرية بالمدينة وانعدامها في الظهير الزراعي.
3. بلغت قوة الجزيرة الحرارية لمدن الدلتا الرئيسة أقصاها في نهار فصل الصيف، وأدناها في نهار فصل الشتاء.
4. شهدت الجزر الحرارية لمدن الدراسة تباينا فصليا يتسق مع النمط الفصلي السائد في كثيرٍ من مدن العالم، حيث تصل الجزيرة الحرارية لذروتها خلال الفصل الحار الجاف (الصيف) وأدناها خلال الفصل البارد الأكثر مطرا (الشتاء). ويمثل فصل الخريف صورة كربونية من فصل الشتاء، بينما يعتبر الربيع فصلا انتقاليا في خصائصه بين الشتاء والصيف. ويعود هذا النمط الفصلي في الاساس إلى تباين المعدلات الفصلية للإشعاع الشمسي الساقط على المنطقة، والتباين الفصلي للانبعاثات الحرارية.
5. اتفق النمط اليومي لشدة الجزر الحرارية الحضرية خلال فصول الشتاء والربيع والخريف مع النمط السائد في العالم، حيث تزيد قوة الجزيرة الحرارية في الليل عن النهار. ويعود ذلك أساسا إلى تباين سعة التخزين الحراري في العمران الحضري عن الظهير الزراعي. كما يعود إلى تباين معدلات الاكتساب والفقد الإشعاعي بين المدينة والظهير الزراعي.
6. اتسم فصل الصيف بنمط يومي مميز لشدة الجزر الحرارية، حيث تزيد في النهار عن الليل. وقد يعود ذلك إلى طول النهار وشدة الإشعاع الشمسي.
7. اتسمت مدينة بورسعيد بنمط مميز، حيث ظهرت كأقوى الجزر الحرارية نهارا، وينقلب الوضع ليلا لتصبح أضعف الجزر الحرارية، أو تتحول إلى جزيرة باردة. ويعُزى ذلك إلى طبيعة ظهيرها الزراعي المحاط بالمياه، وهو ما جعل الخصائص الحرارية لظهير بورسعيد الزراعي يحمل السمات الحرارية للنباتات والمياه معا.
8. لم تظهر الإسكندرية كجزيرة حرارية قوية رغم أنها ثاني أكبر المدن حجما. ويعود ذلك إلى موقعها الساحلي الذي جعلها مجالا لهبوب الرياح الباردة القادمة من البحر، ونشاط نسيم البحر، مما ساهم في زيادة اختلاط الأهوية بين المدينة وظهيرها، وبالتالي تجانسهما حراريا. هذا إضافة إلى زيادة السحب وسرعة الرياح وكمية

المطر والأيام المطيرة. وينسحب الوضع على المدن الساحلية عامة.

9. بدت القاهرة واحدة من أقوى الجزر الحرارية في نهار الشتاء والربيع والخريف، وهو ما يتفق وكونها أكبر المدن حجما. ولكنها اتسمت بضعف جزيرتها الحرارية ليلا في كل الفصول. وظهرت المدن الأقل حجما في وسط الدلتا كجزر حرارية أقوى. وقد تم تفسير ذلك في ضوء عدة عوامل، وهي تباين الكثافة النباتية في الظهير الزراعي من مدينة لأخرى، تباين معدلات تدفق الانبعاثات الحرارية على مدار اليوم، تباين معدلات الاكتساب والفقد الإشعاعي بين المدن، إضافة إلى تمدد الجزيرة الحرارية للقاهرة إلى ظهيرها الزراعي.
10. لم يظهر حجم المدن كمؤثر قوي في التباين المكاني لشدة جزرها الحرارية، اللهم إلا بعض الحالات. ويعود ذلك إلى اختلال العلاقة بين حجم المدينة وقوة جزيرتها بفعل عوامل أخرى تؤثر في قوة الجزيرة الحرارية، مثل الموقع الساحلي.

وتوصي الدراسة بناء على ما سبق من نتائج بمزيد من الاهتمام البحثي حول ظاهرة الجزر الحرارية في المدن المصرية، والتي وضح أنها ظاهرة ثابتة وبارزة في مدن الدلتا، وذلك بما يمكن أن يساهم في مواجهة المشكلات والآثار السلبية التي تتعرض لها البيئة الحضرية نتيجة لتلك الظاهرة، وهي المدن التي تعاني أساسا من مشكلات ارتفاع درجة الحرارة نظرا لموقعها في نطاق الصحاري الحارة شبه المدارية.

المصادر والمراجع.

أولا: المصادر.

1. المساحة الجيولوجية الأمريكية USGS، مرئيات Landsat8 OLI خلال عام 2013، http://glovis.usgs.gov.
2. الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء، التعدادات السكانية لمحافظات الدلتا، 2006.
3. الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء، إحصاءات النقل، 2010.
4. المساحة الجيولوجية الأمريكية USGS، مرئيات MODIS الملتقطة خلال عام 2013، http://glovis.usgs.gov.
5. موقع مرئيات MODIS على شبكة المعلومات الدولية، الإدارة القومية الأمريكية للطيران والفضاء NASA، معمل أبحاث جودارد للفضاء GSFC، http://modis.gsfc.nasa.gov/.

ثانيا المراجع العربية.

1. أحمد عبد الحميد الفقي (2007)، مناخ القاهرة الكبرى، دكتوراه غير منشورة، كلية الآداب، جامعة عين شمس، 382 ص.
2. أمل عبد العظيم عبد المقصود معتوق (2004) العلاقة بين المناخ والعمران في غرب الدلتا، دراسة في جغرافية المناخ التطبيقي، دراسة تطبيقية على مدينة دمنهور، ماجستير غير منشورة، كلية الآداب، جامعة الإسكندرية، فرع دمنهور، 330 صفحة.
3. شيماء السيد عبد النبي (2010) الجزر الحرارية في الإسكندرية: دراسة في المناخ الحضري، ماجستير غير منشورة، كلية الآداب، جامعة الإسكندرية.
4. مسعد سلامة (2002) الإشعاع الشمسي في مصر، دكتوراه غير منشورة، كلية الآداب، جامعة المنصورة.
5. محمد هاني سعيد (2011) مناخ مدينة أسيوط: دراسة جغرافية في المناخ الحضري، دكتوراه غير منشورة، كلية الآداب، جامعة أسيوط، 324 صفحة.
6. وليد عباس عبد الراضي (2013) الحرارة في مُجمع القاهرة الحضري، دراسة باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، دكتوراه غير منشورة، كلية الآداب، جامعة عين شمس، 362 ص.

ثالثا: المراجع الأجنبية.

1. Arnfield, A. J., (2003) Two Decades of Urban Climate Research: A Review of Turbulence, Exchanges Of Energy and Water, and the Urban Heat Island, *International Journal Of Climatology*, Vol. 23, pp. 1–26 (http://onlinelibrary.wiley.com).
2. Babazadeh, M. and Kumar, P. (2015) Estimation of the Urban Heat Island in Local Climate Change and Vulnerability Assessment for

Air Quality in Delhi, *European Scientific Journal*, Special edition, pp. 55-65 (www.eujournal.org).

3. Bourbia, F. and Boucheriba, F. (2010) Impact of Street Design on Urban Microclimate for Semi Arid Climate (Constantine), *Renewable Energy*, Vol. 35, pp. 343–347 (www.elsevier.com).
4. Chow, W.T.L. and Roth, M. (2006) Temporal Dynamics Of The Urban Heat Island Of Singapore, *International Journal Of Climatology*, Vol. 26, pp. 2243–2260 (http://profile.nus.edu.sg).
5. Cai, G., Du, M., Xue, Y. and Li, S. (2009) Analysis of an Urban Heat Sink Using Thermal Inertia Model from ASTER Data in Beijing, *Urban Remote Sensing Event*, China, pp. 1-5 (www.igarss08.org).
6. Cicek, I. and Turkoglu, N. (2009) The Effects Of Urbanization On Water Vapor Pressure In A Semi-Arid Climate, Theoretical and Applied Climatology, Vol. 95, Issue 1, pp 125-134 (http://link.springer.com/).
7. De Carolis, L. (2012) The Urban Heat Island Effect in Windsor, ON: An Assessment of Vulnerability and Mitigation Strategies, Report Prepared for the City of Windsor, 52 p. (http://www.citywindsor.ca/).
8. Dezso, Z., Bartholy, J. and Pongrácz, R. (2007) Urban Heat Island Analysis Using MODIS Measurements for Central European Large Cities, *The 6th International Conference on Urban Climate*, pp. 806-809 (www.gvc2.gu.se).
9. Emmanuel, R. and Fernando, H. J. (2007) Urban Heat Islands in Humid and Arid Climates: Role of Urban Form and Thermal Properties in Colombo, Sri Lanka and Phoenix, USA. *Climate Research*, Vol. 34, 241–251 (http://www.int-res.com/).
10. Gaffin, S. R., Rosenzweig, C., Khanbilvardi, R., Parshall, L. Mahani, S., Glickman, H., Goldberg, R., Blake, R., Slosberg, R. B. and Hillel, D. (2008) Variations In New York City's Urban Heat Island Strength Over Time And Space, *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 94, Issue 1, pp. 1–11 (http://link.springer.com/).
11. Gedzelman, S.D., Austin, S., Cermak, R., Stefano, N., Partridge, S., Quesenberry, S., Robinson, D.A. (2003) Mesoscale Aspects of the Urban Heat Island around New York City, *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 75, pp. 29–42 (http://link.springer.com/).

12. Hara, Y. and Autio, J. (2007) Heat Island Intensity at High Latitude City -An Example From Oulu, Central Finland, *The 6th International Conference on Urban Climate*, pp. 810-813 (www.gvc2.gu.se).
13. Hondula, D.A., Georgescu, M., and Balling, R.C. (2014) Challenges Associated With Projecting Urbanization-Induced Heat-Related Mortality, *Science of the Total Environment*, Vol. 490, pp. 538–544 (http://freepdfhosting.com/).
14. Howard, L. (1833) The Climate of London, International Association for Urban Climate, 285 p. (http://www.urbanclimate.org).
15. Jongtanom, Y., Kositanont, C. and Baulert, S. (2011) Temporal Variations of Urban Heat Island Intensity in Three Major Cities, Thailand, Modern Applied Science, Vol. 5, No. 5, (www.ccsenet.org/mas).
16. Kim, Y.H and Baik, J.J. (2004) Daily Maximum Urban Heat Island Intensity in Large Cities of Korea, Theoretical and Applied Climatology, Vol. 79, , PP. 151-164, (www.springerlink.com).
17. Kim, Y. and Baik, J. (2005) Spatial and Temporal Structure of the Urban Heat Island in Seoul, *Journal of Applied Meteorology*, American Meteorological Society, Vol. 44, American Meteorological Society, PP. 591-605 (http://cum.snu.ac.kr).
18. Koopmans, S., Theeuwes, N. E., Steeneveld, G. J. and Holtslag, A. A .M. (2012) Quantifying the Urbanization Induced Temperature Effect of Weather Station De Bilt (Netherlands) Between 1900-2000, *The 8th International Conference on Urban Climates, IAUC*, Dublin, Ireland, 5 p (www.icuc8.org).
19. Liu, W., Ji, C., Zhong, J., Jiang, X. and Zheng, Z. (2007) Temporal Characteristics Of The Beijing Urban Heat Island, *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 87, pp. 213-221 (http://link.springer.com/).
20. Liu, W., You, H. and Dou, J. (2009) Urban-Rural Humidity and Temperature Differences in the Beijing Area, *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 96, pp. 201–207 (http://link.springer.com/).
21. Lokoshchenko, M. A. and Isaev, A. A. (2003) Influence of Moscow city on the air temperature in Central Russia, *The 5th International Conference on Urban Climate*, Poland, Lodz, Vol.2, pp.449-453 (http://nargeo.geo.uni.lodz.pl).

22. Merkin, R. (2004) The Urban Heat Island's Effect on the Diurnal Temperature Range, Master of Science in Geosystems, Massachusetts Institute Of Technology, Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences, 61 p.
23. Memon, R. A., Leung, D. Y. C., Liu, C. (2009) An Investigation of Urban Heat Island Intensity (UHII) as an Indicator of Urban Heating, *Atmospheric Research*, Vol. 94, pp. 491–500 (www.elsevier.com).
24. Murakami, A. and Hoyano, A. (2008) Study on Urban Heat Island Phenomenon in a Local Small City of Japan Using Airborne Thermal Image, *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, pp. 1354-1357 (www.igarss08.org).
25. Nichol, J. (2005) Remote Sensing of Urban Heat Islands by Day and Night, The American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 71, No. 5, pp. 613–621 (www.asprs.or).
26. Oke, T.R., Spronken-Smith, R.A., Jauregui, E. and Grimmond, C.S.B. (1999) The energy balance of central Mexico City during the dry season, *Atmospheric Environment*, Vol. 33, pp. 3919-3930 (www.sciencedirect.com).
27. Oladosu, O.R., Jegede, O.O., Sunmonu, L.A., and Adediji., A.T. (2007) Bowen Ratio Estimation of Surface Energy Fluxes in a Humid Tropical Site, Ile-Ife, Nigeria, *Indian Journal of Radio & and Space Physics*, Vol. 36, pp. 213-218 (http://nopr.niscair.res.in/).
28. Peng, S., Piao, S., Ciais, P., Friedlingstein, P., Ottle, C., Bréon, F., Nan, H., Zhou, L. and Myneni, T.B. (2012) Surface Urban Heat Island Across 419 Global Big Cities, *Environmental Science And Technology*, Vol. 46, No. 2, pp 696–703 (http://pubs.acs.org/).
29. Saaroni, H. and Ziv, B. (2010) Estimating the Urban Heat Island Contribution to Urban and Rural Air Temperature Differences over Complex Terrain: Application to an Arid City. American Meteorological Society, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Vol. 49, pp. 2159–2166 (http://journals.ametsoc.org/).
30. Shaharuddin, A., Noorazuan, M.H., Takeuchi, W. and Noraziah, A. (2014), The Effects of Urban Heat Islands on Human Comfort: A Case of Klang Valley Malaysia, *Global Journal on Advances in Pure & Applied Sciences*, Vol. 02, pp 01-08 (http://www.world-education-center.org/).

31. Shahmohamadi, P., Che-Ani, A. I., Maulud, K. N., Tawil, N. M., and Abdullah, N. A. (2011) The Impact of Anthropogenic Heat on Formation of Urban Heat Island and Energy Consumption Balance, *Urban Studies Research*, Volume 2011, Article ID 497524, 9 p. (http://www.hindawi.com/).
32. Sofer, M. and Potchter, O. (2006) The Urban Heat Island of a City in an Arid Zone: The Case of Eilat, Israel, Theoretical and Applied Climatology, Vol. 85, PP. 81-88 (http://link.springer.com/).
33. United States Environmental Protection Agency "EPA", Heat Island Effect, State and Local Climate and Energy Program (http://www.epa.gov/heatisld/about/index.htm).
34. Uwadiegwu, I., Egbu, A. and Kalu, A. O. (2011) A Study Of Urban Heat Island Areas In Lagos Metropolis Using Satellite Imagery From 1984 To 2011, *ABSU Journal of Environment, Science and Technology*, Volume 1, pp. 145-159 (www.absujest.com).
35. Weng, Q. (2003) Fractal Analysis of Satellite-Detected Urban Heat Island Effect, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 69, No. 5, pp. 555–566 (http://isu.indstate.edu).
36. Wouters, H., De Ridder, K., Demuzere, M., Lauwaet, D. and Lipzig, N. P. M. (2013) The Diurnal Evolution Of The Urban Heat Island Of Paris: A Model-Based Case Study During Summer 2006, *Atmospheric Chemistry and Physics*, Vol. 13, pp. 8525–8541 (www.atmos-chem-phys.net).
37. Zhou, D., Zhao, S., Zhang, L., Sun, G. and Liu, Y. (2015) The Footprint Of Urban Heat Island Effect In China, Scientific Reports, Vol. 5, Article number 11160 (http://www.nature.com/).

الهوامش

(1) حدد (Dezso, Z. et al., 2007) نطاق الظهير الزراعي للمدن المليونية في وسط أوروبا بـ 10 كم.

(2) يتم حساب نسبة بوين من القانون: $\beta = Q_H / Q_E$

حيـــث

β	نسبة بوين
Q_H	تدفق الحرارة المحسوسة
Q_E	تدفق الحرارة الكامنة