

PHÂN TÍCH ĐẶC TRƯNG BỨC XẠ TỬ NGOẠI VÀ CHỈ SỐ NHIỆT TẠI THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

Phạm Thanh Long, Võ Thị Nguyên, Lê Xuân Hòa, Ngô Hồ Hà My, Trần Đình Quốc
Phân Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn, Môi trường và Biển

Ngày nhận bài: 9/02/2026; ngày chuyển phản biện: 10/02/2026; ngày chấp nhận đăng: 10/4/2026

Tóm tắt: Trong bối cảnh biến đổi khí hậu và đô thị hóa nhanh, bức xạ tử ngoại (UV) và điều kiện nhiệt - ẩm bất lợi đang trở thành những nguy cơ ngày càng rõ rệt đối với sức khỏe cộng đồng tại các đô thị nhiệt đới. Nghiên cứu này phân tích đặc trưng theo thời gian, phân bố không gian và tần suất xuất hiện các điều kiện bức xạ tử ngoại cao tại Thành phố Hồ Chí Minh trong giai đoạn 2016-2020, đồng thời xem xét bối cảnh nhiệt - ẩm đi kèm thông qua chỉ số nhiệt (Heat Index - HI). Chỉ số UV (UVI) được xác định từ suất bức xạ tử ngoại gây đỏ da theo khuyến nghị của WHO/WMO, trong khi chỉ số nhiệt được tính từ nhiệt độ và độ ẩm không khí theo công thức của NOAA. Các ngưỡng $UVI \geq 9$, $HI \geq 32^{\circ}C$ và $HI \geq 41^{\circ}C$ được sử dụng để đánh giá các điều kiện nguy cơ có ý nghĩa đối với sức khỏe cộng đồng. Kết quả cho thấy chỉ số UV duy trì ở mức cao quanh năm và có tính mùa rõ rệt, với các giá trị cực đại tập trung chủ yếu trong giai đoạn tháng 3-4. Các điều kiện bức xạ tử ngoại nguy hiểm xuất hiện với tần suất đáng kể, chủ yếu trong mùa khô. Phân bố không gian UVI chịu chi phối chủ yếu bởi các yếu tố khí quyển quy mô lớn, trong khi chỉ số nhiệt phản ánh rõ hơn tác động của điều kiện bề mặt và đô thị hóa. Mặc dù không trùng khớp hoàn toàn về phân bố không gian, các ngày có UVI cao thường đồng thời diễn ra trong bối cảnh nhiệt - ẩm bất lợi, làm gia tăng mức độ phơi nhiễm tổng hợp.

Từ khóa: Bức xạ tử ngoại, chỉ số UV, chỉ số nhiệt, đô thị nhiệt đới, biến đổi khí hậu, dữ liệu vệ tinh.

1. Mở đầu

Biến đổi khí hậu toàn cầu và quá trình đô thị hóa nhanh đang làm thay đổi đáng kể môi trường bức xạ tại các đô thị lớn, đặc biệt ở khu vực nhiệt đới. Sự gia tăng nhiệt độ không khí, thay đổi chế độ mây và thành phần khí quyển có thể làm gia tăng mức độ phơi nhiễm bức xạ mặt trời tại bề mặt [1]. Trong đó, bức xạ tử ngoại (UV) là thành phần của bức xạ mặt trời có tác động trực tiếp đến sức khỏe con người, hệ sinh thái và vật liệu xây dựng. Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng phơi nhiễm UV kéo dài hoặc ở cường độ cao làm gia tăng nguy cơ tổn thương da, mắt và các bệnh liên quan đến tia cực tím [2], [3].

Trên thế giới, bức xạ UV thường được đánh giá thông qua chỉ số UV (UV Index - UVI) và đã được chuẩn hóa nhằm phục vụ công tác đánh

giá rủi ro sức khỏe cộng đồng [4]. Các nghiên cứu quốc tế tập trung phân tích đặc trưng không gian - thời gian của bức xạ UV, xu thế biến đổi dài hạn và mối liên hệ với các yếu tố khí hậu như mây, khí dung và tổng lượng ô-dôn [5], [6]. Tuy nhiên, phần lớn các nghiên cứu này được thực hiện tại các khu vực ôn đới hoặc trên quy mô khu vực - toàn cầu, trong khi các đô thị nhiệt đới, nơi có cường độ bức xạ cao quanh năm và tốc độ đô thị hóa nhanh, vẫn còn tương đối ít nghiên cứu chi tiết.

Trong những năm gần đây, nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng các đô thị nhiệt đới đang phải đối mặt với nguy cơ gia tăng stress nhiệt do sự kết hợp giữa nhiệt độ cao, độ ẩm lớn và quá trình đô thị hóa nhanh. Phân tích quy mô khu vực cho thấy các điều kiện stress nhiệt có xu hướng gia tăng tại Đông Nam Á trong bối cảnh biến đổi khí hậu, làm gia tăng mức độ phơi nhiễm nhiệt của dân cư đô thị [7]. Bên cạnh đó, các nghiên cứu thực địa tại các đô thị trong khu vực cũng ghi

Tác giả liên hệ: Phạm Thanh Long

Email: longpham.sihymete@gmail.com

nhận mối liên hệ giữa phơi nhiễm nhiệt ngoài trời và các ảnh hưởng bất lợi đối với sức khỏe cộng đồng, đặc biệt đối với các nhóm dân cư dễ tổn thương [8]. Những kết quả này cho thấy việc xem xét đồng thời bức xạ tử ngoại và điều kiện nhiệt - ẩm là cần thiết trong đánh giá rủi ro khí hậu và sức khỏe cộng đồng tại các đô thị nhiệt đới.

Tại Việt Nam, các nghiên cứu liên quan đến khí hậu đô thị trong những năm gần đây chủ yếu tập trung vào nắng nóng, stress nhiệt và hiệu ứng đảo nhiệt đô thị, trong khi bức xạ tử ngoại mới chỉ được đề cập ở mức mô tả hoặc trong các nghiên cứu chuyên đề riêng lẻ. Các đặc trưng không gian - thời gian của bức xạ UV trong môi trường đô thị, cũng như tần suất xuất hiện các điều kiện UV cao trên chuỗi số liệu dài hạn, chưa được nghiên cứu một cách hệ thống. Đặc biệt, mối liên hệ giữa bức xạ UV và điều kiện nhiệt - ẩm đi kèm, vốn quyết định mức độ phơi nhiễm thực tế của con người trong môi trường đô thị, vẫn còn là khoảng trống nghiên cứu.

Thành phố Hồ Chí Minh là đô thị lớn nhất Việt Nam, nằm trong vùng khí hậu nhiệt đới gió mùa cận xích đạo, có cường độ bức xạ mặt trời cao quanh năm và chịu tác động mạnh của quá trình đô thị hóa. Trong khi nhiều nghiên cứu trước đây đã phân tích đặc điểm nắng nóng và các chỉ số nhiệt tại khu vực này, các đặc trưng không gian - thời gian của bức xạ tử ngoại trong môi trường đô thị Thành phố Hồ Chí Minh vẫn chưa được làm rõ trên cơ sở chuỗi số liệu dài hạn và đa nguồn.

Xuất phát từ thực tiễn đó, nghiên cứu này tập trung phân tích đặc trưng theo thời gian, phân bố không gian và tần suất xuất hiện các điều kiện bức xạ tử ngoại cao tại Thành phố Hồ Chí Minh trong giai đoạn 2016-2020. Chỉ số nhiệt được sử dụng như chỉ số hỗ trợ nhằm cung cấp bối cảnh môi trường nhiệt - ẩm đi kèm với các điều kiện UV cao, không nhằm thay thế hoặc lặp lại các nghiên cứu chuyên sâu về nắng nóng đã được công bố trước đó. Kết quả nghiên cứu góp phần bổ sung cơ sở khoa học cho đánh giá rủi ro phơi nhiễm bức xạ UV trong môi trường đô thị và phục vụ công tác quản lý rủi ro khí hậu trong bối cảnh biến đổi khí hậu.

2. Số liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Số liệu sử dụng và phạm vi nghiên cứu

a) Số liệu sử dụng

Nghiên cứu sử dụng các nguồn số liệu sau: (i) Số liệu quan trắc bức xạ cực tím tại trạm Tân Sơn Hòa (máy quang phổ Brewer): Thiết bị Brewer hoạt động theo chế độ đo tự động dựa trên lịch quan trắc được lập trình sẵn và phụ thuộc vào điều kiện quan trắc; được thực hiện khi góc thiên đỉnh Mặt Trời và cường độ bức xạ đủ lớn để đảm bảo chất lượng phép đo. Vì vậy khoảng thời gian giữa các phép đo UV không hoàn toàn cố định, dao động phổ biến khoảng 20-30 phút/lần đo. Từ phổ bức xạ theo bước sóng $E(\lambda)$, DUV (Diffey-weighted ultraviolet irradiance), hay còn gọi là bức xạ UV hiệu dụng gây ban đỏ (erythemally weighted UV irradiance) được tính bằng cách áp dụng phổ tác động ban đỏ chuẩn của CIE (McKinlay-Diffey, 1987) và tích phân theo bước sóng. (ii) Số liệu nhiệt độ và độ ẩm không khí từ Trạm Khí tượng Tân Sơn Hòa và ERA5_land, độ phân giải 10 x 10 km. (iv) Số liệu theo giờ UVB (W/m^2) hướng xuống từ bề mặt Trái đất (dải bước sóng UVB là 0,28-0,315 μm), độ phân giải 10 km x 10 km, được thu thập từ Trung tâm Dữ liệu Môi trường Cao nguyên Tây Tạng, Trung Quốc (TQ). Số liệu được định dạng tệp "ncdf" dễ dàng cho sử dụng, phương pháp, mô tả số liệu có thể tìm thấy tại: <https://cstr.cn/18406.11.Atmos.tpd.272820>, và các công trình đã công bố [9], [10], [11].

b) Phạm vi nghiên cứu

Trong nghiên cứu này thực hiện đánh giá UV trong khu vực màu xanh (TP. Hồ Chí Minh chưa sáp nhập) (Hình 1).

2.2. Phương pháp tính toán chỉ số bức xạ tử ngoại

Để đồng nhất nguồn số liệu, trong nghiên cứu này chúng tôi lọc DUV những số liệu vào mốc giờ chính, giá trị gần mốc giờ chính 5 phút sẽ được lựa chọn, những số liệu ngoài phạm vi giờ tròn sẽ sử dụng nội suy tuyến tính theo biến thời gian để nội suy về giờ tròn bằng công thức sau:

$$X(t) = X(t_0) + \frac{t-t_0}{t_1-t_0} [X(X(t_1) - X(t_0))]$$

Trong đó: t_0 và t_1 là hai thời điểm lân cận cách nhau 3 giờ trong dữ liệu gốc, còn t là thời điểm trung gian.

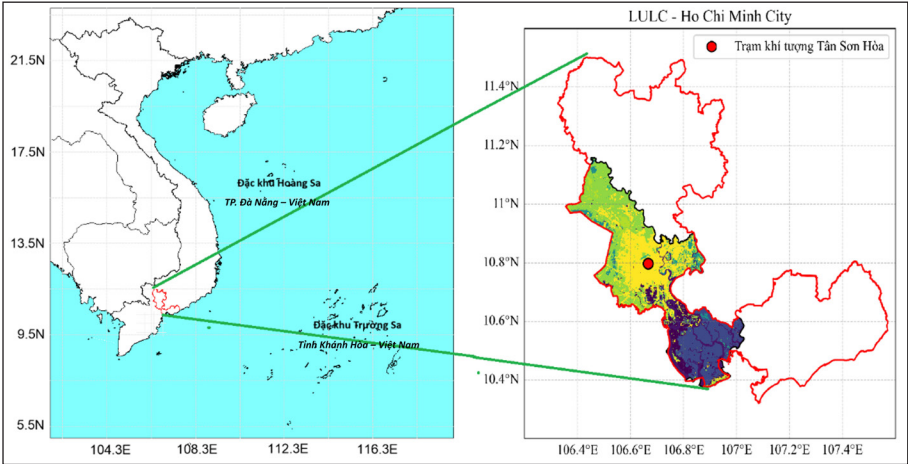
Bức xạ UVB sẽ được chuyển thành DUV dựa vào phương trình mối quan hệ tuyến tính $DUV = 0,98UVB$ (Hệ số tương quan $R = 0,88$). Chỉ số bức xạ tử ngoại (UV Index - UVI) được xác định từ suất bức xạ tử ngoại gây đỏ da theo công thức sau:

$$UVI = \frac{DUV (W/m^2)}{0,025} \tag{1}$$

Trong đó: DUV là suất bức xạ tử ngoại gây đỏ da (W/m^2), được xác định bằng cách tích. Công

thức này được sử dụng theo khuyến nghị của Tổ chức Y tế Thế giới (WHO) và Tổ chức Khí tượng Thế giới (WMO) trong đánh giá và cảnh báo bức xạ tử ngoại [2], [12].

Trong nghiên cứu này, $UVI \geq 9$ được sử dụng làm ngưỡng xác định điều kiện bức xạ tử ngoại nguy hiểm phục vụ phân tích và cảnh báo (Bảng 1). Đối với các khu vực nhiệt đới, $UVI \geq 11$ xuất hiện với tần suất thấp hơn và mang tính cực đoan, trong khi $UVI \geq 9$ phản ánh tốt hơn các điều kiện nguy cơ phổ biến và có ý nghĩa đối với quản lý rủi ro sức khỏe cộng đồng [3], [5].



Hình 1. Phạm vi nghiên cứu (màu xanh)

2.3. Phương pháp tính toán chỉ số nhiệt

Chỉ số nhiệt (Heat Index - HI) được tính từ nhiệt độ không khí và độ ẩm tương đối theo công thức hồi quy do NOAA/National Weather Service đề xuất [13], [14]:

$$HI = -42,379 + 2,04901523T + 10,14333127RH - 0,22475541TRH - 6,83783 \times 10^{-3}T^2 - 5,481717 \times 10^{-2}RH^2 + 1,22874 \times 10^{-3}T^2RH + 8,5282 \times 10^{-4}TRH^2 - 1,99 \times 10^{-6}T^2RH^2 \tag{2}$$

Trong đó: T là nhiệt độ không khí ($^{\circ}C$), RH là độ ẩm tương đối (%) và HI là chỉ số nhiệt ($^{\circ}C$).

Trong nghiên cứu này, các ngưỡng $HI \geq 32^{\circ}C$ và $HI \geq 41^{\circ}C$ được lựa chọn để xác định các điều kiện tiềm năng nhiệt cao (Bảng 2). Đối với các khu vực nhiệt đới, ngưỡng $HI \geq 54^{\circ}C$ xuất hiện với tần suất rất thấp và mang tính cực đoan, trong khi $HI \geq 32^{\circ}C$ và $HI \geq 41^{\circ}C$ phản ánh tốt hơn các điều kiện nguy cơ phổ biến và có ý nghĩa thực tiễn trong đánh giá rủi ro khí hậu và quản lý sức khỏe cộng đồng.

Bảng 1. Ngưỡng chỉ số UV sử dụng trong nghiên cứu [2], [11]

UVI	Mức nguy cơ	Ý nghĩa
$UVI < 3$	Thấp	Nguy cơ thấp đối với sức khỏe con người
$3 < UVI < 5$	Trung bình	Có thể gây ảnh hưởng nhẹ khi phơi nhiễm kéo dài
$6 < UVI < 7$	Cao	Nguy cơ tổn thương da và mắt khi tiếp xúc trực tiếp
$8 < UVI < 10$	Rất cao	Nguy cơ cao gây tổn thương da và mắt
$UVI \geq 11$	Cực kỳ nguy hiểm	Nguy cơ rất cao đối với sức khỏe, cần hạn chế phơi nhiễm

Bảng 2. Ngưỡng chỉ số nhiệt (HI) sử dụng trong nghiên cứu [13], [14]

HI (°C)	Mức nguy cơ	Ý nghĩa
HI < 27	Bình thường	Ít nguy cơ đối với sức khỏe
27 < HI < 32	Cảnh báo	Có thể mệt mỏi khi tiếp xúc hoặc hoạt động kéo dài
32 < HI < 41	Nguy hiểm	Có thể xảy ra chuột rút và kiệt sức do nóng
41 < HI < 54	Rất nguy hiểm	Nguy cơ cao say nắng, sốc nhiệt
HI ≥ 54	Cực kỳ nguy hiểm	Nguy cơ rất cao, có thể tử vong nếu phơi nhiễm kéo dài

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Diễn biến theo thời gian của chỉ số UVI và HI

Biến trình trung bình ngày trong năm của chỉ số UV tại trạm Tân Sơn Hòa cho thấy bức xạ tử ngoại duy trì ở mức cao quanh năm và thể hiện rõ tính mùa. Giá trị UVI tăng dần từ đầu năm, đạt cực đại trong giai đoạn khoảng tháng 3-4 (ngày trong năm xấp xỉ 80-120), sau đó giảm nhẹ trong các tháng giữa năm và tiếp tục suy giảm rõ rệt về cuối năm. Trong mùa mưa, mặc dù UVI có xu thế thấp hơn so với mùa khô, song vẫn ghi nhận nhiều ngày có giá trị UVI thuộc nhóm cao và rất cao, phản ánh đặc điểm khí hậu nhiệt đới với cường độ bức xạ mặt trời lớn.

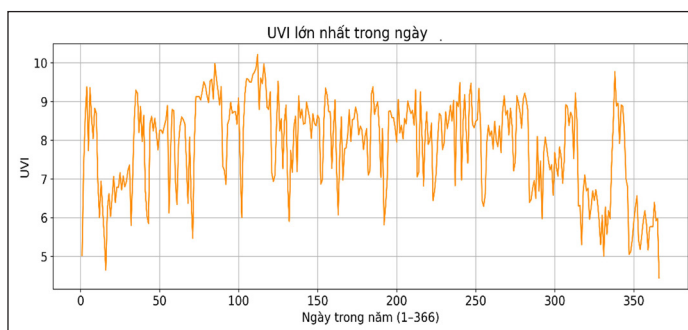
Kết quả cho thấy các giá trị $UVI \geq 9$ xuất hiện chủ yếu trong giai đoạn tháng 2 đến tháng 5, tập trung nhiều nhất vào tháng 3 và tháng 4, trùng với thời kỳ góc thiên đỉnh Mặt Trời lớn và điều kiện mây che phủ thấp. Ngoài ra, trong một số thời điểm thuộc các tháng giữa năm (tháng 6-8), $UVI \geq 9$ vẫn xuất hiện rải rác trong những ngày trời quang mây, cho thấy các điều kiện bức xạ tử ngoại nguy hiểm không chỉ giới hạn trong mùa khô điển hình (Hình 2).

Bên cạnh xu thế mùa rõ rệt, biến trình UVI còn thể hiện dao động ngày khá lớn, đặc biệt trong giai đoạn giữa năm. Sự dao động này chủ

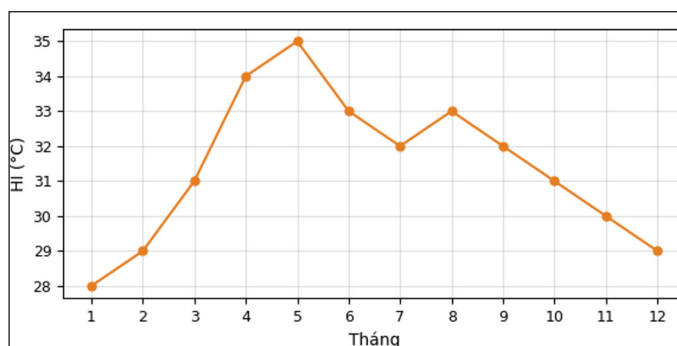
yếu liên quan đến ảnh hưởng của mây và mưa trong mùa mưa, làm suy giảm tạm thời bức xạ tử ngoại tại bề mặt. Tuy nhiên, các giá trị UVI cao vẫn xuất hiện xen kẽ trong những ngày trời quang mây, cho thấy nguy cơ phơi nhiễm bức xạ UV tại khu vực nghiên cứu tồn tại trong phần lớn thời gian trong năm.

Diễn biến theo tháng của chỉ số nhiệt (HI) cho thấy xu thế tăng rõ rệt từ đầu năm và đạt giá trị cao nhất vào khoảng tháng 4-5, với HI trung bình tháng vượt ngưỡng 32°C , phản ánh điều kiện nhiệt - ẩm bất lợi trong môi trường đô thị. Sau giai đoạn cực đại này, HI giảm dần trong các tháng tiếp theo và đạt giá trị thấp hơn vào cuối năm, song vẫn duy trì ở mức tương đối cao so với nhiều khu vực khác (Hình 3).

So sánh diễn biến của UVI và HI cho thấy hai chỉ số này có xu thế mùa tương đối đồng pha, với các giá trị cao tập trung chủ yếu trong mùa khô. Điều này cho thấy các giai đoạn có bức xạ tử ngoại mạnh thường đồng thời diễn ra trong bối cảnh điều kiện nhiệt - ẩm cao, làm gia tăng mức độ phơi nhiễm tổng hợp đối với con người trong môi trường đô thị. Tuy nhiên, sự khác biệt về biên độ và dạng biến trình cũng cho thấy UVI chịu chi phối mạnh bởi các yếu tố khí quyển như mây và bức xạ mặt trời, trong khi HI phản ánh rõ hơn tác động của nhiệt độ và độ ẩm không khí.



Hình 2. Biến trình năm của chỉ số UVI lớn nhất ngày trung bình 2016-2020 tại trạm Tân Sơn Hòa

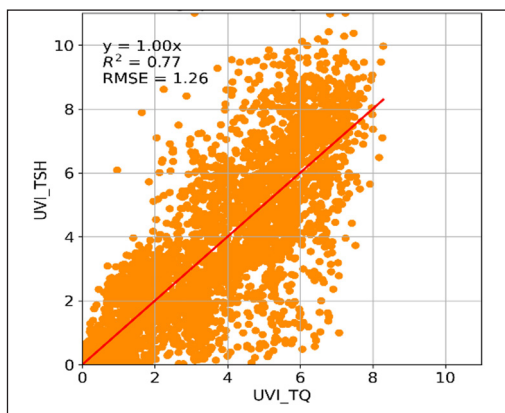


Hình 3. Biến trình trung bình tháng trong năm của chỉ số HI tại trạm Tân Sơn Hòa giai đoạn 2016-2020

Đáng chú ý, các giai đoạn có bức xạ tử ngoại cao thường đồng thời trùng với các điều kiện nhiệt - ẩm bất lợi. Kết quả cho thấy các giá trị $UVI \geq 9$ xuất hiện phổ biến trong giai đoạn tháng 3-4, trong khi chỉ số nhiệt HI $\geq 32^\circ\text{C}$ đạt giá trị cao nhất vào khoảng tháng 4-5. Điều này cho thấy trong khoảng thời gian từ tháng 3 đến tháng 5, khu vực nghiên cứu thường xuyên xuất hiện đồng thời các điều kiện bức xạ tử ngoại cao và stress nhiệt, làm gia tăng mức độ phơi nhiễm tổng hợp đối với con người trong môi trường đô thị. Trong những thời điểm này, rủi ro đối với sức khỏe cộng đồng có thể gia tăng do sự kết hợp giữa bức xạ UV mạnh và điều kiện nhiệt - ẩm cao, đặc biệt đối với các hoạt động ngoài trời và các nhóm dân cư dễ tổn thương. Kết quả

này nhấn mạnh tầm quan trọng của việc xem xét đồng thời cả hai yếu tố môi trường khi đánh giá rủi ro khí hậu trong các đô thị nhiệt đới.

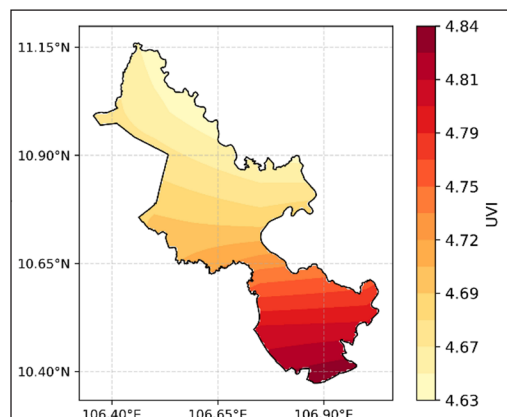
Biểu đồ phân tán thể hiện mối quan hệ giữa UVI tại trạm Tân Sơn Hòa (TSH) và của Trung Quốc (TQ) cho thấy mối tương quan khá chặt chẽ với hệ số xác định $R^2 = 0,77$, cho thấy khoảng 77% biến thiên của UVI tại TSH có thể được giải thích bởi sự biến thiên của UVI tại TQ. Phương trình hồi quy thu được có dạng độ dốc gần bằng 1 và hàm ý rằng giá trị UVI trung bình tại hai trạm có xu hướng tương đương nhau. Sai số căn phương trung bình (RMSE) giữa hai bộ số liệu đạt 1,26 đơn vị UVI, phản ánh mức độ sai khác tương đối nhỏ và nằm trong ngưỡng chấp nhận được đối với các phép đo bức xạ cực tím (Hình 4).



Hình 4. Mối quan hệ giữa UVI tại Tân Sơn Hòa (TSH) và của Trung Quốc (TQ)

3.2. Phân bố không gian của UVI và HI

Tháng 4 được lựa chọn làm tháng đại diện để phân tích phân bố không gian của chỉ số UV do đây là giai đoạn ghi nhận giá trị UVI trung



Hình 5. Phân bố không gian của UVI trung bình 6-17 giờ tại Thành phố Hồ Chí Minh

bình và cực đại cao nhất trong năm tại khu vực nghiên cứu. Giai đoạn này trùng với thời kỳ góc thiên đỉnh Mặt Trời lớn, cường độ bức xạ mặt trời mạnh và lượng mây che phủ thấp trước khi bước vào cao điểm mùa mưa, tạo điều kiện

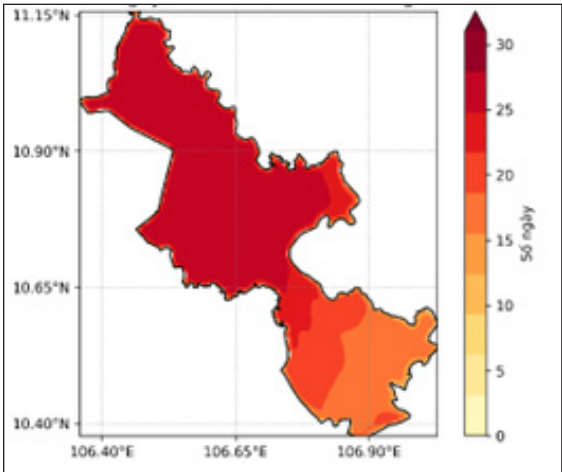
thuận lợi cho bức xạ tử ngoại đạt mức cao. Phân bố không gian UVI trong tháng 4 cho thấy sự không đồng đều rõ rệt, với các giá trị cao tập trung chủ yếu tại khu vực phía Nam và Đông Nam Thành phố Hồ Chí Minh, trong khi các khu vực phía Bắc và Tây Bắc ghi nhận giá trị thấp hơn (Hình 5). Sự phân hóa này phản ánh vai trò tổng hợp của các yếu tố khí quyển quy mô lớn (bức xạ mặt trời, mây) và điều kiện bề mặt trong việc chi phối bức xạ tử ngoại tại bề mặt, đồng thời cho thấy tháng 4 là giai đoạn điển hình để đánh giá phân bố không gian các điều kiện bức xạ UV cao trong năm.

Đối với chỉ số nhiệt, tháng 4 và tháng 5 được lựa chọn nhằm đại diện cho các giai đoạn tiềm năng nhiệt cao và rất cao tại khu vực nghiên cứu. Trong tháng 4, số ngày có HI từ 32-41°C phân bố không đồng đều, với giá trị cao tập trung tại khu vực trung tâm và phía Bắc Thành phố Hồ Chí Minh, trong khi các khu vực ven biển và phía Nam ghi nhận số ngày thấp hơn (Hình 6). Phân bố này phản ánh ảnh hưởng rõ nét của điều kiện bề mặt đô thị và hiệu ứng tích tụ nhiệt, trong đó khu vực nội thành với mật độ xây dựng lớn và thông gió kém có xu hướng ghi nhận tiềm năng nhiệt cao hơn.

Sang tháng 5, số ngày có HI $\geq 41^\circ\text{C}$ giảm mạnh

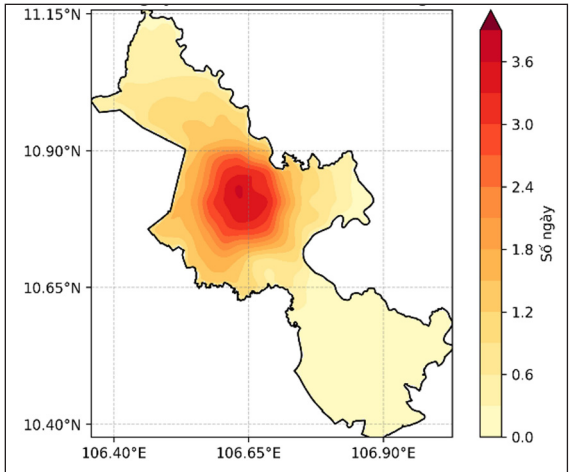
cả về tần suất và phạm vi không gian, chỉ còn tập trung cục bộ tại khu vực nội thành (Hình 7). Điều này cho thấy các điều kiện tiềm năng nhiệt rất cao mang tính hiếm gặp và cực đoan, thường chỉ xuất hiện khi sự kết hợp giữa nhiệt độ cao và độ ẩm lớn đạt mức bất lợi nhất. So sánh phân bố không gian của UVI và HI cho thấy, trong khi bức xạ tử ngoại chịu chi phối chủ yếu bởi các yếu tố khí quyển quy mô lớn, chỉ số nhiệt phản ánh rõ hơn tác động của đô thị hóa và điều kiện bề mặt. Sự khác biệt này nhấn mạnh tầm quan trọng của việc xem xét đồng thời cả hai chỉ số để đánh giá đầy đủ bối cảnh rủi ro khí hậu trong môi trường đô thị Thành phố Hồ Chí Minh.

So sánh phân bố không gian của chỉ số UV và chỉ số nhiệt cho thấy hai chỉ số này có mối liên quan nhất định về mặt thời gian, với các giá trị cao tập trung chủ yếu trong mùa khô. Tuy nhiên, sự khác biệt rõ rệt về phân bố không gian cho thấy UVI chịu chi phối chủ yếu bởi các yếu tố khí quyển quy mô lớn như bức xạ mặt trời và mây, trong khi HI phản ánh rõ hơn tác động của điều kiện bề mặt và quá trình đô thị hóa. Do đó, các khu vực có UVI cao không nhất thiết trùng khớp hoàn toàn với các khu vực có HI cao, nhấn mạnh sự cần thiết phải xem xét đồng thời cả hai chỉ số khi đánh giá rủi ro khí hậu trong môi trường đô thị.



Hình 6. Phân bố không gian số ngày có chỉ số nhiệt (HI) từ 32-41°C trong tháng 4 tại Thành phố Hồ Chí Minh

Đáng chú ý, mặc dù phân bố không gian của UVI và HI không hoàn toàn trùng khớp, một số khu vực vẫn có khả năng chịu đồng thời tác động của bức



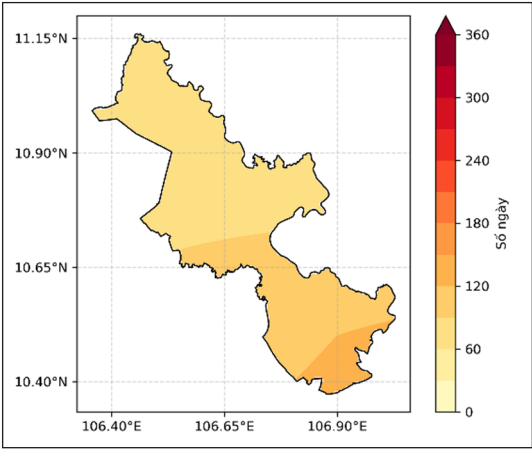
Hình 7. Phân bố không gian số ngày có chỉ số nhiệt (HI) $\geq 41^\circ\text{C}$ trong tháng 5 tại Thành phố Hồ Chí Minh

xạ tử ngoại cao và stress nhiệt. Kết quả cho thấy các giá trị UVI cao trong tháng 4 tập trung chủ yếu tại khu vực phía Nam và Đông Nam Thành phố

Hồ Chí Minh, trong khi số ngày có HI từ 32-41°C lại xuất hiện nhiều hơn tại khu vực trung tâm và phía Bắc thành phố. Tuy nhiên, các khu vực nội thành và vùng chuyển tiếp giữa trung tâm và phía nam vẫn ghi nhận đồng thời các điều kiện bức xạ tử ngoại cao và nhiệt - ẩm bất lợi, đặc biệt trong giai đoạn cuối mùa khô. Điều này cho thấy một số khu vực đô thị có thể phải chịu phơi nhiễm tổng hợp (combined exposure) giữa bức xạ UV mạnh và stress nhiệt, làm gia tăng rủi ro đối với sức khỏe cộng đồng, nhất là đối với các hoạt động ngoài trời và các nhóm dân cư dễ tổn thương. Kết quả này nhấn mạnh tầm quan trọng của việc xem xét đồng thời cả hai yếu tố môi trường khi đánh giá rủi ro khí hậu trong môi trường đô thị.

3.3. Tần suất xuất hiện các điều kiện UV cao và bối cảnh nhiệt ẩm đi kèm

Kết quả tổng hợp cho thấy các điều kiện bức xạ tử ngoại cao và tiềm năng nhiệt bất lợi xuất hiện với tần suất đáng kể tại Thành phố Hồ Chí Minh (Hình 8). Trung bình mỗi năm có khoảng 90-120 ngày (25-32%) ghi nhận $UVI \geq 9$, phản ánh mức độ phổ biến của các điều kiện bức xạ tử ngoại thuộc nhóm nguy cơ cao trong môi trường đô thị nhiệt đới (Bảng 3). Các ngày có UVI cao tập trung chủ yếu trong mùa khô, song vẫn xuất hiện rải rác trong các tháng giữa năm vào những ngày trời quang mây, cho thấy nguy cơ phơi nhiễm UV không chỉ giới hạn trong một giai đoạn ngắn.



Hình 8. Phân bố số ngày có chỉ số UVI > 9 tại Thành phố Hồ Chí Minh

Về bối cảnh nhiệt - ẩm, số ngày có HI $\geq 32^\circ\text{C}$ đạt khoảng 100 ngày/năm (27%), cho thấy các điều kiện nhiệt - ẩm cao là trạng thái tương đối phổ biến trong năm. Ngược lại, các điều kiện HI $\geq 41^\circ\text{C}$ chỉ xuất hiện khoảng 10 ngày/năm (3%), phản ánh tính chất hiếm gặp và mang tính cực đoan của các điều kiện tiềm năng nhiệt rất cao (Bảng 3). Sự khác biệt rõ rệt về tần suất giữa hai ngưỡng HI cho thấy phần lớn các ngày có nhiệt - ẩm bất lợi tập trung ở mức nguy cơ trung bình đến cao, trong khi các điều kiện nguy hiểm hơn chỉ xuất hiện cục bộ trong thời gian ngắn.

So sánh tần suất giữa UVI và HI cho thấy các ngày có bức xạ tử ngoại cao ($UVI \geq 9$) thường đồng thời diễn ra trong bối cảnh nhiệt - ẩm cao ($HI \geq 32^\circ\text{C}$), đặc biệt trong mùa khô. Điều này làm gia tăng mức độ phơi nhiễm tổng hợp đối

với con người trong môi trường đô thị, mặc dù các điều kiện tiềm năng nhiệt rất cao ($HI \geq 41^\circ\text{C}$) xuất hiện với tần suất thấp hơn nhiều. Kết quả này nhấn mạnh sự cần thiết phải xem xét đồng thời cả bức xạ tử ngoại và điều kiện nhiệt - ẩm khi đánh giá rủi ro khí hậu và sức khỏe cộng đồng tại Thành phố Hồ Chí Minh.

Bảng 3. Tần suất xuất hiện các điều kiện bức xạ UV cao ($UVI \geq 9$) và bối cảnh nhiệt - ẩm đi kèm

Ngưỡng	Số ngày/năm	Tỉ lệ (%)
$HI \geq 32^\circ\text{C}$	100	27
$HI \geq 41^\circ\text{C}$	10	3
$UVI \geq 9$	90-120	25-32

Bên cạnh các kết quả phân tích, cần lưu ý rằng chỉ số nhiệt (Heat Index - HI) trong nghiên cứu

được tính theo công thức của NOAA/National Weather Service, vốn được xây dựng dựa trên điều kiện khí hậu của Hoa Kỳ. Trong điều kiện khí hậu nhiệt đới gió mùa của Việt Nam, đặc biệt tại các đô thị ven biển như Thành phố Hồ Chí Minh, mối quan hệ giữa nhiệt độ và độ ẩm có thể khác so với các khu vực ôn đới, do đó các ngưỡng HI tiêu chuẩn có thể chưa phản ánh đầy đủ đặc trưng khí hậu địa phương. Một số nghiên cứu gần đây tại Việt Nam cho thấy mức độ stress nhiệt và các điều kiện nhiệt - ẩm nguy hiểm có sự khác biệt đáng kể giữa các vùng khí hậu, cho thấy cần xem xét hiệu chỉnh các ngưỡng HI phù hợp với điều kiện địa phương [15], [16]. Các nghiên cứu về sinh khí hậu tại Việt Nam cũng cho thấy việc đánh giá tác động khí hậu tới sức khỏe con người cần dựa trên chuỗi số liệu dài hạn và đặc trưng khí hậu từng vùng [17].

Ngoài ra, cần lưu ý rằng chuỗi số liệu sử dụng trong nghiên cứu (2016-2020) còn tương đối ngắn so với chuỗi số liệu khí tượng dài hạn. Do đó, các kết quả phân tích có thể chịu ảnh hưởng nhất định của các dao động khí hậu liên niên, đặc biệt là hiện tượng El Niño - Southern Oscillation (ENSO). ENSO được xem là một trong những dạng biến thiên nội tại mạnh nhất của hệ thống khí hậu ở thang thời gian liên niên và có thể gây ra những biến động đáng kể về nhiệt độ cũng như các hiện tượng cực đoan khí hậu ở nhiều khu vực trên thế giới [18], [1]. Một số nghiên cứu tại khu vực Đông Nam Á cũng cho thấy các sự kiện El Niño có thể làm gia tăng các điều kiện nhiệt độ cực đoan trong khu vực [19]. Vì vậy, việc mở rộng chuỗi số liệu trong các nghiên cứu tiếp theo sẽ giúp đánh giá ổn định hơn các đặc trưng dài hạn của bức xạ UV và chỉ số nhiệt, đồng thời cho phép xem xét rõ hơn ảnh hưởng của các dao động khí hậu quy mô lớn.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã phân tích đặc trưng theo thời gian, phân bố không gian và tần suất xuất hiện của các điều kiện bức xạ tử ngoại cao tại Thành phố Hồ Chí Minh trong giai đoạn 2016-2020,

đồng thời xem xét bối cảnh nhiệt - ẩm đi kèm thông qua chỉ số nhiệt (Heat Index - HI). Kết quả cho thấy bức xạ tử ngoại tại khu vực nghiên cứu duy trì ở mức cao quanh năm và thể hiện tính mùa rõ rệt, với các giá trị cực đại tập trung chủ yếu trong giai đoạn tháng 3-4. Các điều kiện bức xạ tử ngoại nguy hiểm ($UVI \geq 9$) xuất hiện với tần suất đáng kể, phản ánh mức độ phổ biến của nguy cơ phơi nhiễm UV trong môi trường đô thị nhiệt đới.

Phân tích phân bố không gian cho thấy bức xạ tử ngoại có sự phân hóa nhất định trên khu vực nghiên cứu và chịu chi phối chủ yếu bởi các yếu tố khí quyển quy mô lớn như bức xạ mặt trời và mây. Trong khi đó, chỉ số nhiệt thể hiện sự phân hóa không gian rõ rệt hơn, với các điều kiện tiềm năng nhiệt cao tập trung chủ yếu tại khu vực nội thành, phản ánh ảnh hưởng của điều kiện bề mặt và quá trình đô thị hóa. Mặc dù phân bố không gian của hai chỉ số không hoàn toàn trùng khớp, một số khu vực đô thị vẫn có khả năng chịu tác động đồng thời của bức xạ UV mạnh và stress nhiệt.

Đánh giá tần suất cho thấy các ngày có UVI cao thường xuất hiện trong bối cảnh điều kiện nhiệt - ẩm bất lợi, đặc biệt trong mùa khô. Sự kết hợp giữa bức xạ tử ngoại cao và nhiệt - ẩm cao làm gia tăng mức độ phơi nhiễm tổng hợp đối với con người trong môi trường đô thị, qua đó làm tăng rủi ro đối với sức khỏe cộng đồng.

Kết quả nghiên cứu nhấn mạnh tầm quan trọng của việc xem xét đồng thời bức xạ tử ngoại và điều kiện nhiệt - ẩm trong đánh giá rủi ro khí hậu tại các đô thị nhiệt đới. Các kết quả thu được góp phần bổ sung cơ sở khoa học cho việc xây dựng các hệ thống cảnh báo sớm đa nguy cơ và hỗ trợ công tác quản lý rủi ro khí hậu, thích ứng với biến đổi khí hậu tại Thành phố Hồ Chí Minh.

Các nghiên cứu tiếp theo cần mở rộng chuỗi số liệu dài hơn và xem xét phạm vi đô thị mở rộng nhằm đánh giá toàn diện hơn mối liên hệ giữa bức xạ tử ngoại, stress nhiệt và rủi ro sức khỏe trong bối cảnh biến đổi khí hậu.

Đóng góp của từng tác giả trong bài báo: Tác giả Phạm Thanh Long đã đề xuất ý tưởng nghiên cứu, định hướng nội dung, chuyên môn và tham gia phân tích kết quả. Tác giả Lê Xuân Hòa và Trần Đình Quốc chịu trách nhiệm thu thập, xử lý số liệu UV và nhiệt. Tác giả Võ Thị Nguyên phân tích dữ liệu, vẽ bản đồ. Tác

giả Ngô Hồ Hà My viết bản thảo bài báo. Tất cả các tác giả đã cùng trao đổi, thảo luận và thống nhất phê duyệt bản thảo cuối cùng.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện trong khuôn khổ nhiệm vụ “Xây dựng giải pháp cảnh báo thời tiết cực đoan do biến đổi khí hậu tại Thành phố Hồ Chí Minh trên nền tảng công nghệ số và khoa học cộng đồng”. Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn đơn vị chủ trì, các cộng tác viên và các tổ chức liên quan đã hỗ trợ cung cấp số liệu, đóng góp ý kiến chuyên môn và tạo điều kiện thuận lợi trong suốt quá trình thực hiện nghiên cứu.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change, *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, 2021, doi: 10.1017/9781009157896.
- [2] World Health Organization, *Global Solar UV Index: A Practical Guide*. Geneva, Switzerland: WHO, 2002.
- [3] R. M. Lucas, A. J. McMichael, W. T. Smith, and B. K. Armstrong, *Solar Ultraviolet Radiation: Global Burden of Disease From Solar Ultraviolet Radiation*, Environmental Burden of Disease Series No. 13. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2006.
- [4] World Health Organization (WHO); World Meteorological Organization (WMO) (2002), *Global Solar UV Index: A Practical Guide*. Geneva, Switzerland: WHO/WMO, 2002.
- [5] V. E. Fioletov, J. B. Kerr, and A. Fergusson, “The UV index: Definition, distribution and factors affecting it,” *Can. J. Public Health*, 101(4), I5-I9, 2010, doi: 10.1007/BF03405303
- [6] J. R. Herman, “Global increase in UV irradiance during the past 30 years,” *J. Geophys. Res. Atmos.*, 115(D4), 2010, doi: 10.1029/2009JD012219.
- [7] S. Manimaran et al., “Widespread heat stress will become the norm in a warming Southeast Asia,” *Sci. Rep.*, 2025, doi: 10.1038/s41598-025-28817-6.
- [8] D. Daniel et al., “Urban heat exposure and health impacts among adolescents in Yogyakarta, Indonesia,” *Environmental Research*, 2026.
- [9] Y. Ma et al., “High-resolution surface solar radiation dataset over the Tibetan Plateau (2000-2016),” *Earth Syst. Sci. Data*, vol. 12, pp. 183–198, 2020, doi: 10.5194/essd-12-183-2020.
- [10] H. Hüsletu et al., “Evaluation of high-resolution UV radiation datasets over the Tibetan Plateau,” *Atmospheric Research*, vol. 266, art. no. 105948, 2022.
- [11] L. Husi et al., “Surface UV radiation variability and influencing factors over the Tibetan Plateau,” *Remote Sens.*, vol. 14, art. no. 2345, 2022.
- [12] World Meteorological Organization, *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*, WMO-No. 8. Geneva, Switzerland: WMO, 2018.
- [13] R. G. Steadman, “The assessment of sultriness. Part I: A temperature-humidity index based on human physiology and clothing science,” *J. Appl. Meteorol.*, 18, 861-873, 1979, doi: 10.1175/1520-0450(1979)018<0861:TAOSPI>2.0.CO;2.
- [14] National Oceanic and Atmospheric Administration and National Weather Service, *Heat Index*, NOAA Technical Report. Washington, DC, USA: NOAA, 1990.
- [15] T. L. T. Hoang et al., “Assessing heat index changes in the context of climate change: A case study of Hanoi, Viet Nam,” *Frontiers in Earth Science*, 2022, doi: 10.3389/feart.2022.897601.
- [16] D. N. H. Nguyễn và cộng sự, “Diễn biến của chỉ số nhiệt (Heat Index) tại Thành phố Hồ Chí Minh,” *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, 768, 45-53, 2024. DOI: 10.36335/VNJHM.2024(768).45-53.

- [17] V. L. Nguyen, D. M. Nguyen et al., “Đánh giá điều kiện khí hậu ảnh hưởng đến sức khỏe con người tham gia hoạt động du lịch ngoài trời Đồng bằng sông Cửu Long thông qua chỉ số HCl,” *Tạp chí Khoa học Biển đổi khí hậu*, 30, 25-33, 2024. DOI: <https://doi.org/10.55659/2525-2496/30.99538>.
- [18] M. Latif et al., “El Niño/Southern Oscillation response to global warming,” *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(31), 10748-10753.
- [19] K. Thirumalai et al., “Extreme temperatures in Southeast Asia caused by El Niño and worsened by global warming,” *Nat. Commun.*, vol. 8, art. no. 15531, 2017, doi: 10.1038/ncomms15531.

ANALYSIS OF ULTRAVIOLET RADIATION CHARACTERISTICS AND THE HEAT INDEX IN HO CHI MINH CITY

Pham Thanh Long, Vo Thi Nguyen, Le Xuan Hoa, Ngo Ho Ha My, Tran Dinh Quoc
Sub-Institute of Meteorology, Hydrology, Environment and Marine Sciences

Received: 9/02/2026; Accepted: 10/4/2026

Abstract: *Abstract: In the context of climate change and rapid urbanization, ultraviolet (UV) radiation and adverse thermal-humidity conditions are emerging as significant public health concerns in tropical cities. This study analyzes the temporal variability, spatial distribution, and occurrence frequency of high ultraviolet radiation conditions in Ho Chi Minh City during the period 2016-2020, while also examining the accompanying thermal-humidity environment using the Heat Index (HI).*

The UV Index (UVI) was derived from erythemally weighted ultraviolet irradiance following the recommendations of the World Health Organization (WHO) and the World Meteorological Organization (WMO), whereas the Heat Index was calculated from air temperature and relative humidity using the regression equation proposed by the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Thresholds of $UVI \geq 9$, $HI \geq 32^{\circ}C$, and $HI \geq 41^{\circ}C$ were applied to identify conditions posing meaningful risks to public health.

The results indicate that UV radiation remains high throughout the year and exhibits a pronounced seasonal cycle, with peak values occurring mainly during March and April. Hazardous UV conditions occur with a considerable frequency, predominantly during the dry season. The spatial distribution of UVI is primarily governed by large-scale atmospheric processes, whereas the Heat Index more clearly reflects the influence of surface conditions and urbanization. Although their spatial patterns do not completely coincide, days with high UVI often occur concurrently with unfavorable thermal-humidity conditions, thereby increasing overall human exposure.

Keywords: *Ultraviolet radiation, UV Index, Heat Index, tropical city, climate change, satellite data.*