

تحلیل اپتادی

سیستم‌های UVGI ضد عفونی هوا

W.J. Kowalski, W.P. Bahnfleth and J.L. Rosenberger □

برگردان: مهندس حمیدرضا مقربی شایسته (شرکت پنام آزمایشگاه)

HVAC&R RESEARCH منبع:



تحلیل ابعادی یک سیستم ضد عفونی هوا مرسوم به UVGI یا تشعشع ضد میکروب ماء و بخش در یک حصار انعکاس دهنده و پخش کننده نور با استفاده از نظریه *Buckinghampi* انجام می‌شود. هشت پارامتر بی‌بعد به دست آمده عبارتند از: نسبت منظر (عرض به ارتفاع) کanal، نسبت منظر لامپ، قابلیت انعکاس و جملات شامل مختصات محلی لامپ، ابعاد کanal، جریان هوا و دوز UV.

از تعیین سازی رایانه‌ای دوز جذب شده به وسیله یک میکروب هوابرد برای پیش‌بینی کارایی سیستم در ترکیبات مختلف از چندین هزار پارامتر بدون بعد استفاده می‌شود.

برای تعیین اهمیت هر کدام از این پارامترهای بدون بعد و اثرات مقابل آن‌ها نتایج به دست آمده تحلیل آماری می‌شوند. نتایج مربوط به کارایی سیستم‌ها در این مقاله به صورت خلاصه ارایه می‌شوند و نشان خواهیم داد که غالب پارامترهای مهم و تعیین کننده در کارایی سیستم‌های UVGI انعکاس و پخش شونده دوز، قابلیت انعکاس، ابعاد کanal، نسبت منظری لامپ، مکان آن و عملکردهای ترکیبی متعدد این پارامترها به صورت توأم می‌باشد، معنی ضمنی و عملی این تحقیق اصلاح یا بهینه‌سازی سیستم‌های UVGI ضد عفونی هوا در دستگاه‌های گردشی و درون کanalی می‌باشد که نهایتاً به بهبود بازدهی انرژی منجر می‌شود.

$$K = \text{ثابت نرخ، } (\text{Cm}^3/\mu\text{w.s})$$

$$I_{avg} = \text{تابش متوسط، } (\mu\text{w/Cm}^2)$$

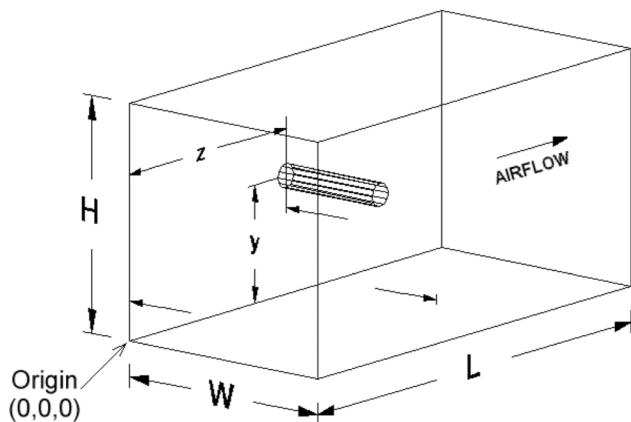
$$t = \text{مدت زمان در معرض بودن (s)}$$

از بعضی از پارامترهای این مدل می‌توان و باید به خاطر اطلاعات کمی محدود در مورد اثرات آن‌ها چشم‌پوشی کرد. این پارامترها عبارتند از: دمای هوا، رطوبت نور^۱ و قابلیت بازتاب طیفی. دمای هوا اثر ناچیزی بر بقای میکروب‌ها در زمان تابش UVGI دارد به شرطی که نه آسیب گرمایی و نه آسیب به شکل انجماد ایجاد شود. این امر در غالب سیستم‌های تهیه با حجم ثابت صحت دارد چون دمای هوا معمولاً تعاملی دارد که در یک بازهٔ محدود تقریبی بین ۱۳ درجه سانتی‌گراد و ۲۷ درجه سانتی‌گراد (۵۵°F تا ۸۰°F) باقی بماند و این امر به مکان و عوامل دیگری نیز بستگی دارد.

دمای هوا می‌تواند با خنک کردن بیش از حد لامپ در خروجی لامپ UV اثر بگذارد بهویژه وقتی که سرعت هوا فراتر از حدود طراحی است. اغلب لامپ‌های UV طوری طراحی شده‌اند که در دمای هوا تقریبی ۲۱.۵°C (۷۰°F) و سرعت هوای ۲-۲.۵۴ m/s (۴۰۰-۵۰۰ fpm) کار کنند. خروجی لامپ UV در خارج این بازه زیاد یا کم می‌شود. بعضی از لامپ‌ها در موقع افت دما از ۲۷°C (۸۰°F) به ۱۶°C (۶۰°F) درصد یا بیشتر خروجی یا توان UV را از دست می‌دهند. (Westinghouse). (1982).

لامپ‌های UV مشخصی وجود دارند که دارای کنترل‌هایی هستند که در واکنش به اثرات سرمایش جریان هوا توان UV را تقویت خواهد کرد (Kowalski and Bahnfleth, 2000). با وجود این لامپ‌های دیگری هم وجود دارند که دارای یک حفاظ شفاف در برابر UV (به‌طوری که UV را جذب نمی‌کند) هستند که اثرات سرمایش را کاهش می‌دهد.

شکل (1) هندسه و ابعاد یک سیستم UVGI مستطیلی؛ طول لامپ X است و جریان هوا در امتداد طول L است



معمولًا از سیستم‌های UVGI برای ضدغونی هوا، سطوح و آب استفاده می‌شود و این سیستم، سلاح اصلی طراحان در جنگ با انتقال بیماری محسوب می‌شود. سیستم‌های UVGI آبی ساقه‌های طولانی در قابلیت اعتماد و قابلیت پیش‌بینی دارند اما سیستم‌های ضدغونی هوا قادر چنین ساقه‌ی درخشانی هستند و طراحی آن‌ها اساساً براساس نتایج آزمایشگاهی و مطالعات محدودی انجام گرفته است.

شناخت محدود از اصول طراحی در اغلب سیستم‌های UVGI سبب شده است برآورد طراحی که این سیستم‌های ناکارآمد و غیر موثر پیش‌تر یا کمتر از از مقدار واقعی آن باشد. روش‌های تحلیلی پیش‌بینی کارایی سیستم UVGI اخیراً ارایه شده‌اند (Kowalski and Bahnfleth, 2000)، اما تاکنون ارزیابی کاملی روی عوامل دخیل در طراحی موثر این سیستم‌ها صورت نپذیرفته است. هیچ راه حل کاملی برای فرآیند ضدغونی UVGI وجود ندارد و احتمالاً عملی هم نیست، بنابراین اثر پارامترهای سیستم باید از نتایج مطالعات پارامتری استنتاج شوند.

تحلیل ابعادی که به وفور در حوزه‌هایی مانند مکانیک سیالات و انتقال حرارت با همرفت استفاده می‌شود، شیوه‌ای قدرتمند و مناسب برای تحلیل نتایج فراوان چنین مطالعاتی است. تحلیل ابعادی شامل تمامی متغیرهای ابعادی مربوط به هر سیستم و شناخت حداقل پارامترهای بدون بعد مستقلی است که از این متغیرها به دست می‌آیند.

نظریه Buckingampi پی روش رسمی برای شناخت پارامترهای بدون بعد است و در این مقاله مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل (1) هندسه و ابعاد یک نوع سیستم UVGI را نشان می‌دهد. تنها لامپ‌های ساده در این مقاله مذکور قرار می‌گیرند. یک لامپ UV در کanal و به صورت عرضی عمود بر جریان نصب می‌شود و هوا آلوده از درون آن رد می‌شود. در کلیه سیستم‌های مختصات مورد استفاده Z= در سطح جلو کanal قرار می‌گیرد. در سمت چپ کanal و Y= نیز در کف کanal قرار می‌گیرد. سرچپ لامپ در X= قرار می‌گیرد، بنابراین X برابر طول قوس لامپ است.

پارامترهای فیزیک معرف کارایی و عملکرد سیستم‌های UVGI در جدول (1) آمده‌اند. واحدهای اصلی این جدول عبارتند از T= زمان، L= طول، M= جرم و D= درجه (دما).

مختصات Y و Z مکان لامپ در کanal مستطیلی را نشان می‌دهند. اگر که لامپ در X= باشد، مختصه‌ی X سر لامپ برابر با طول قوس لامپ است. ثابت نرخ K پاسخ هر جمعیت میکری تחת تابش UV را طبق معادله (1) تعریف می‌کند:

$$\ln S = -k I_{avg} t \quad (1)$$

که در آن:
S= بقاء، کسری

فرایند می‌تواند سبب اصلاح خود به خود میکروب‌های آسیب دیده شود و باعث شود که درصد قابل توجهی از جمعیت میکروب‌ها به خاطر ناکارآمدی UV بازیافت شوند.

واکنش نوری در آزمایش‌ها UV آبی مطالعه شده است اما در حال حاضر اطلاعات کافی در مورد واکنش نوری میکروب‌های هوابرد در دسترس نیست (Linden and Darby ۱۹۹۴). یک مقاله نشان می‌دهد که نرخ *Mycobacterium Para fortuitum* تحت تابش UV در سوسپانسیون مایع با تابش لحظه‌ای نور مرئی بدشت کاهش می‌یابد (Peccia and Hernandez ۲۰۰۱). مقاله‌ی مشابهی نشان می‌دهد که جمعیت میکروبی هوابرد در صورتی به خوبی قابل بازیافت هستند، که زمان کافی در اختیار داشته باشند.

اثر واکنش نوری به RH وابسته است و وقتی RH تقریبا ۶۵ درصد کمتر باشد، این اثر از میان می‌رود. (Peccia and Hernandez ۲۰۰۱) شواهد نشان می‌دهد که در مقادیری بالاتر از یک دامنه‌ی مجازی RH تغییرات DNA انطباقی روی می‌دهد که به میکروب‌ها امکان می‌دهد که واکنش نوری را تجربه کنند (Rahn and Hosszu, ۱۹۶۹; Munakata and Rupert ۱۹۷۴). هر چند در حال حاضر، مدل کمی عمومی برای پدیده‌ی واکنش نوری میکروب‌های هوابرد وجود ندارد، می‌توان در مورد طراحی سیستم UVGI نظراتی را براساس اثر واکنش نوری بیان داشت. در حالت ایده‌آل، RH تقریبا در هر سیستم UVGI

امروزه بیش از صدها نوع لامپ مختلف وجود دارند و عملکرد و کارآیی تک آن‌ها را نمی‌توان تعمیم داد و در این مقاله، تحلیل‌ها براساس توان خروجی UV است و از کارایی خاص لامپ‌ها تحت شرایط متغیر استفاده نمی‌شود و بنابراین، اثرات سرمایش لامپ در این مقاله مدنظر قرار نمی‌گیرد. سرعت هوا در این تحلیل در محدوده‌ی طراحی ۵۰۰ fpm (۵۴ m/s) است.

اثر رطوبت‌نسبی (RH) روی ثابت نرخ، مدت‌های مدیدی است که موضوع بحث‌های فراوانی بوده است. در بعضی از مطالعات انجام شده، نشان داده شد که در بعضی از گونه‌های میکروبی نرخ واپاشی^۳ UV با افزایش RH کاهش می‌یابد. (Riley and Kaufman ۱۹۷۲) در حالی که شماری دیگر نشان Lidwell and Lowbury ۱۹۵۰ دادند که با افزایش RH، نرخ واپاشی افزایش می‌یابد. (Rentschler and Nagy ۱۹۴۲)

مطالعات اخیر نشان می‌دهند که نرخ واپاشی، با افزایش RH در سه گونه باکتری تحت تابش UV، کاهش می‌یابد (Peccia ۲۰۰۱). در حال حاضر، اطلاعات کافی برای تعیین کمیت این اثرات به صورت عمومی وجود ندارد و بنابراین اثرات RH در این مقاله لحاظ نشده است.

(ASHRAE ۱۹۹۳) برای محیط‌های داخلی، مناطق آسایش را مناطقی تعریف می‌کند که RH آن‌ها زیر ۶۰ درصد است و این مقدار دامنه‌ی RH کاری هر سیستم UVGI با آن هوای اتاق را بازچرخانی می‌کند یا هوای برگشت را ضدغوفونی می‌کند. اما در یک واحد هوارسان، RH می‌تواند به سرعت تغییر کند و این امر به محل استقرار سیستم UVGI بستگی دارد. بدیهی است، اثرات RH می‌تواند مکان هر سیستم UVGI نصب شده را دیکته کند وقتی می‌تواند از طریق کنترل RH سبب تقویت بازدهی شود اما بدون دسترسی به نتایج کمی اثرات RH نمی‌توان مدل‌سازی دقیق اثرات RH را در این مقاله به انجام رساند.

عمل دیگری که در این مقاله نمی‌توان به آن پرداخت، پدیده‌ی واکنش نوری است. واکنش نوری وقی اتفاق می‌افتد که میکروگانیسم‌ها در زمان تابش UV یا بعد از آن در معرض نور مرئی قرار بگیرند (Setlow ۱۹۶۶). این

جدول (۱) تعریف پارامترهای سیستم‌های ضدغوفونی هوای UVGI

Parameter	Description	Units
W	Duct width	L
H	Duct height	L
L	Duct length	L
r	Lamp radius	L
l	Lamp arc length (= x, the lamp end coordinate)	L
P	Lamp UV power	ML ² /T ³
t	Exposure time	T
x	Lamp end coordinate (= lamp arc length w/ base at x = 0)	L
y	Lamp Y position or distance above bottom surface	L
z	Lamp Z position or distance from duct entrance	L
Re	Degree of air missing or turbulence, Reynolds number	T ² /M
k	UVGI rate constant	D
T	Air temperature	1/T
RH	Relative humidity	1/T
PR	Photoreactivation rate (in open air and visible light)	M ³ /T
ρ	Surface reflectivity	
Q	Airflow rate	
S	Survival fraction	

اکسید منیزیم یا PTFE تقریباً می‌توان گفت که به صورت کامل پخشی یا انتشاری هستند. نتایج این تحلیل را می‌توان تنها در قابلیت بازتابش انتشاری یا پخشی به کاربرد.

اثرات اختلاط هوا توسط شرایط جریان مختلط کامل یا جریان غیرمختلط کامل محدود نمود و بنابراین پارامترهای جریان مانند عدد Kowalski and Bahnfleth(، ۲۰۰۰)، زمان تابش نتیجه‌یی ضمی ابعاد کانال و جریان هواست و به عنوان یک متغیر مستقل مجزا به آن نیاز نداریم.

تحلیل کارایی سیستم براساس برنامه‌ای است که Penn state که آن را ارایه کرده است و شدت میدان سه بعدی درون یک قاب بازتابشی و اثرات آن بر میکروب‌های هوابرد در یک جریان هوای عبوری از آن را شبیه‌سازی می‌کند (Kowalski ۲۰۰۱). این نرمافزار که موسوم به برنامه UVX است کارایی یک سیستم UVGI مستطیلی را به کمک سطوح بازتابشی انتشاری داخلی و تعداد یا نوع لامپ UV پیش‌بینی می‌کند. این برنامه از ضرایب دید تشبع حرارتی برای ارزیابی شدت میدان لامپ و شدت میدان ناشی از بازتابش انتشاری استفاده می‌کند.

مدل‌های کامپیوتوรی لامپ و سطوح بازتابشی شار UV یا تشبع کروی را تقریب می‌زنند که بر یک میکروب کروی هوابرد وارد می‌شوند. پیش‌بینی‌های برنامه و به صورت مستقل به وسیله سه آزمایشگاه مختلف با دقت $\pm 30\%$ تایید شده‌اند (UVDI 2002؛ Kowalski 2001) دقت این آزمایش‌ها در ۸۵ درصد موارد از ± 12 درصد بهتر بود و تنها جواب یک آزمون از این ۳۵ آزمون منفی بود.

آنچه شرایط کاری، اندازه‌های کanal و ترکیبات لامپ آزمون شده‌اند و توان مدل برای پیش‌بینی بقاء میکروب‌های هوابرد تحت تابش UV در کانال‌های بازتابشی مستطیلی در محدوده دقت بیان شده باقی می‌ماند. تلاش برای کالیبراسیون مدل قابلیت بازتابشی با استفاده از پرتوسنجی کروی (Rahn و ۱۹۹۹) تاکنون ناکافی بوده است.

در این مطالعه، از نسخه‌ی UVX اصلاح شده برنامه‌ای برای پیش‌بینی کارایی ترکیبات سیستم UVGI براساس متغیرهای موجود در جدول استفاده شد، اساساً،

زیر ۶۵ درصد است و قاب UVGI باید مقداری نور مرئی را جذب کند و یا اصلاً جذب نکند. همچنین، زمان بازیافتی که واکنش نوری در طی آن روی می‌دهد، تابعی از زمان سکونت متوسط هوای ساختمان است (برای سیستم‌هایی که هوا را می‌چرخانند) هرچند زمان سکونت متوسط را نمی‌توان به راحتی دست کاری کرد، اما می‌توان آن را با استفاده از آهنگ تعویض هوا و نرخ واکنش نوری به حساب آورد. در جدول (۱) نرخ واکنش نوری (PR)، دارای واحد زمان معکوس (L/T) است چرا که به کمک درصد جمعیتی تعریف می‌شود که با گذشت زمان در طول تابش نور مرئی در هوای باز، احیا شده‌اند. اثر واکنش نوری روی ثابت نرخ UVGI را باید به صورت مجزا تعریف کرد که بدون بعد است.

قابلیت بازتابش دو مولفه دارد، پخشی و طیفی:

$$\rho = \rho_d + \rho_s \quad (2)$$

که در آن:

ρ_d =قابلیت بازتابش پخشی و کسری (درصدی)

ρ_s =قابلیت بازتابش طیفی و کسری (درصدی)

در یک مدل رایانه‌ای که این تحلیل براساس آن انجام می‌شود، قابلیت بازتاب پخشی فرض می‌شود و فرض بر این است که فاقد مولفه‌ی طیفی است غالب مواد واقعی مانند کanal گالوانیزه هر دو مولفه را دارند. آلمینیوم صیقلی تقریباً به صورت کامل طیفی است، در حالی که مواد بازتابنده مانند

جدول (۲) نمونه‌ای از داده‌های ورودی و خروجی برنامه UVX

W cm	H cm	r cm	I cm	k $\text{cm}^2/\text{mW}\cdot\text{s}$	Program Input Data						Output		
					P W	t s	x cm	y cm	z cm	L cm	ρ %	Kill Rate %	
241	240	0.59	128	0.0028	4	5.59	128	61	60	120	0.65	65	
295	204	0.72	156	0.0028	4	5.79	156	52	60	120	0.65	64	
349	184	0.85	185	0.0028	4	6.18	185	47	60	120	0.65	63	
349	184	7.56	185	0.0028	4	6.18	185	47	60	120	0.65	63	
402	172	0.98	213	0.0028	4	6.66	213	44	60	120	0.65	63	
456	164	1.11	241	0.0028	4	7.19	241	42	60	120	0.65	62	
509	158	1.24	270	0.0028	4	7.74	270	40	60	120	0.65	62	
563	153	1.37	298	0.0028	4	8.31	298	39	60	120	0.65	62	

جدول (۳) آرایه‌ی واحدها برای پارامترهای حداقلی سیستم UVGI

Unit	W	H	L	r	P	t	x	y	z	k
M	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-1
L	1	1	1	1	2	0	1	1	1	0
T	0	0	0	0	-3	1	0	0	0	2

$$\Pi_1 = \frac{W}{L} \quad (6)$$

به همین ترتیب، بقیه‌ی گروه‌های P_i را می‌توان تعیین کرد. لگاریتم طبیعی بقاء به صورت تابعی از هفت گروه P_i و هشت پارامتر بی بعد t به صورت زیر خلاصه می‌شود:

$$\ln S = f\left(\frac{W}{L}, \frac{r}{L}, \frac{kPt}{L^2}, \frac{x}{L}, \frac{y}{L}, \frac{z}{L}, \frac{H}{L}, \rho\right) \quad (7)$$

می‌توان به کمک پارامترهای معادله‌ی (7) که استفاده از آن‌ها عملی است، ترکیبات بسیار مفیدی را ایجاد کرد مثل نسبت منظر کانال و نسبت منظر لامپ. نسبت منظر کانال را می‌توان از گروه‌های ۱ و ۲ به وجود آورد:

$$\Pi_a = \frac{\Pi_1}{\Pi_2} = \frac{WL}{LH} = \frac{W}{H} \quad (8)$$

نسبت منظر لامپ، نسبت Y (H/L) و نسبت H (y/H) را می‌توان به همین ترتیب و با اندازی عملیات جبری به دست آورد. گروه P_i پنجم که توان لامپ را نیز شامل می‌شود، با ضرب گروه‌های ۱ و ۲ و انجام تبدیلات قابل اصلاح است:

$$\Pi_5 = \frac{kPt}{L^2} \Pi_1 \Pi_2 = \frac{kPt}{L^2} \left(\frac{L}{W}\right) \left(\frac{L}{H}\right) = \frac{kPt}{WH} \quad (9)$$

گروه پی را می‌توان به شیوه‌ای مفیدتر نیز به دست آورد، شیوه‌ای که شامل دبی هوا (q) و طول (L) نیز می‌شود که زمان در معرض بودن را بر حسب حجم و دبی را تعریف می‌کند و در گروه‌های ۱ و P_i ۲ و P_i ۳ ضرب می‌شود. جمله‌ی حاصله به خاطر شکل عمومی آن که توان UV در هر واحد دبی هوا را شامل می‌شود، دوز ویژه نامیده می‌شود:

$$\Pi_5 = \frac{kPt}{L^2} \Pi_1 \Pi_2 = \frac{kP}{L^2} \left(\frac{WHL}{Q}\right) \left(\frac{L}{W}\right) \left(\frac{L}{H}\right) = \frac{kPL}{Q} \quad (10)$$

تحلیل و تفسیر را می‌توان با جایگزین کردن نرخ کشتار K به جای S ساده‌تر هم نمود. رابطه‌ی بین لگاریتم طبیعی نرخ کشتار و هشت پارامتر بدون بعد به صورت زیر است:

$$\ln K = f\left(\frac{W}{H}, \frac{r}{l}, \frac{kPL}{Q}, \frac{x}{W}, \frac{y}{H}, \frac{z}{L}, \frac{H}{L}, \rho\right) \quad (11)$$

در معادله‌ی (11)، طول قوس لامپ جایگزین مختصه‌ی X در گروه ۲ شده است چون این دو کمیت برابرند. بازه‌ی مقادیر پارامترهای بدون بعد در معادله‌ی (11)، جدول (۴) نمایش داده شده است و علاوه بر این مقادیر حداکثر و حداقل‌های مورد استفاده در این مقاله نیز در این جدول آمده‌اند. این حدود به عنوان نمونه‌ای از مقادیر حدی انتخاب شدند که در سیستم‌های واقعی با آن مواجه می‌شوند اما به هیچ وجه حدود مطلق نیستند. مثلاً نسبت منظر می‌تواند از $W/H=1$ (کانال مربعی) به حداکثر مقدار عملی ۵ تعمیم پیدا کند.

این برنامه به جای آزمون‌های آزمایشگاهی و بدون صرف هزینه و زمان استفاده شد. این روش قادر دقت تجربی مطلق است اما می‌تواند به سرعت و کامل‌تر از آزمایش، ترکیبات سیستم را تحلیل کند.

جدول (۲) نمونه‌ای از اطلاعات ورودی و خروجی برنامه را نشان می‌دهد. تمامی متغیرهای دیگر همانند متغیرهای تعریف شده در جدول (۱) هستند به جزء نرخ یا آهنگ کشتن (K) که به صورت زیر حساب می‌شود:

$$K = 1 - S \quad (3)$$

تحلیل ابعادی

حداکل متغیرهای سیستم در این مدل در معادله‌ی (۲) بر حسب لگاریتم طبیعی بقاء خلاصه شده‌اند:

$$\ln S = \phi(W, H, L, r, P, t, x, y, z, k, \rho) \quad (4)$$

دبی Q در معادله‌ی (4) نیامده است چون زمان در معرض بودن t و ابعاد کانال نیز معرف جریان یا دبی هوا هستند، دبی (Q) بعداً برای ساده‌سازی یکی از پارامترهای بدون بعد استفاده می‌شود. طول قوس لامپ در معادله‌ی (4) لحظه نشده است زیرا برابر مختصات X لامپ است (شکل ۱). این جملات (L و X) در این مقاله به جای هم‌دیگر استفاده می‌شوند.

تحلیل رسمی با استفاده از نظریه Buckinghampi انجام شده (Kundu ۱۹۹۰). گام اول تعیین تعداد پارامترهای ابعاد و تعداد واحدهای ترکیبی است. کلا ۱۲ پارامتر در معادله‌ی (4) وجود دارد اما تنها ۱۰ پارامتر از این ۱۲ پارامتر بعد دارد و بنابراین تعداد کل n برابر ۱۰ است. جدول (۳) خلاصه ابعاد هر پارامترها را در سیستم واحد T, L و M نشان می‌دهد که به ترتیب زمان، طول و جرم و می‌باشد و در این سیستم S و r نیامده‌اند زیرا از قبل بدون بعد بودند. چون تنها سه واحد تکراری وجود دارد M, L و T ، تعداد پارامترهای تکراری $m=3$ است.

ثابت نرخ پارامترها (k)، توان (P) و طول (L) به عنوان سه پارامتر تکراری انتخاب شدند که سه بعد L, M و T دارند. ترکیب این پارامترهای تکراری با پارامترهای دیگر گروه‌هایی با ابعاد $M^a L^b T^c$ به وجود می‌آورد که در آن نهادهای پارامترها یا توان آن‌ها به صورت جبری تعیین می‌شوند تا توان‌های b, a و c صفر شوند.

طبق نظریه Pi، حداقل تعداد گروه‌های Pi بدون بعد منحصر به فرد n-m یا در مثال فعلی ۷ مورد توجه است. گروه اول پی kplw است:

$$\left(\frac{T^2}{M}\right)^a \left(\frac{ML^2}{T^3}\right)^b (L)^c (L) = M^0 L^0 T^0 \quad (5)$$

اگر نهادهای را برابر قرار دهیم داریم: $Pi = a=0, b=0, c=-1$

تحلیل فاکتوریل یا عاملی

در ضدغونی هوا، هدف این است که جمله‌ی $\ln k$ در معادله‌ی ۱۱ حداکثر شود. اهمیت نسبی این پارامترها در تعیین نرخ کشتار کلی را می‌توان با انجام 2^k تحلیل فاکتوریل، به دست آورد (Montgomery ۲۰۰۱) انجام 2^k تحلیل فاکتوریل مستلزم تعیین یک مقدار بالا و پایین برای هر پارامتر K و تحلیل تمام 2^k فرمول است. در تحلیل با هشت پارامتر، تعداد جایشگت‌ها ۲۵۶ است.

ده متغیر ابعادی مقادیری دارند که طبق جدول (۵) مقادیر حداقل و حداکثر را در بر می‌گیرد. مختصه‌ی X لامپ معرف انتهای لامپ (از طول لامپ) است چون مختصه‌ی دیگر لامپ در $X=0$ است. مقادیر زمان در معرض بودن و سرعت و هوا تنها برای اطلاع ارایه شده است.

بعضی از متغیرها ثابت می‌مانند تا تفسیر و مقایسه عملاً صورت

گیرد. ثابت نرخ در جدول (۵) نمایش داده شده است و برابر

$0.00275 \text{ cm}^2/\mu\text{W}\cdot\text{s}$

که نشان‌دهنده *serratia marceccers* است که

به عنوان عامل اصلی بیماری زای هوابرد طراحی در مطالعات گذشته استفاده می‌شد.

(kowalski et al., ۲۰۰۰) سرعت هوادر مقدار (50.0 fpm)

ثابت می‌ماند. شعاع لامپ 2.45 m/s

در 1 cm ثابت می‌ماند. هر چند شعاع لامپ از 0.79 cm تا حدود

2 cm تغییر می‌کند، لازم است که یک مقدار ثابت بماند تا با آن بتوان

تمام پارامترهای دیگر را حساب کرد و شعاع، پارامتری عملی است

زیرا کوچکترین پارامتر است و محدودترین بازه را دارد.

مجموعه داده‌های 3^k فاکتوریل

که خروجی برنامه‌ی UVX است، کامل و به ترتیب استاندارد است و به عنوان یک مدل خطی عمومی

Montgomery (۲۰۰۱)، این تحلیل تمامی اثرات

متقابل دو طرفه، سه طرفه، چهار طرفه و پنج طرفه‌ی بین پارامترهای

بدون بعد را در نظر می‌گیرد. تحلیل

بازه مقادیر نسبت منظر لامپ با بررسی ابعاد واقعی لامپ تعیین شد که در منابع مختلف مانند کاتالوگ و هندبوک‌ها (IES ۱۹۸۱) وجود دارد. بازه‌ی دوز ویژه برای ایجاد نرخ‌های کشنده در محدوده‌ی ۱۰ تا ۹۹ درصد انتخاب شد.

با نزدیک شدن نرخ کشتار به ۱۰۰ درصد، حساسیت آن به افزایش UV کاهش می‌یابد و بنابراین نرخ کشتار باید حداقل زیر ۹۹ درصد باشد تا اهمیت داشته باشد. حداقل نسبت X براساس کوتاه‌ترین طول لامپ است و حداکثر معرف بازه‌ی کامل کافی است. نسبت Y با این فرض محدود شده است که فاصله‌ی لامپ تقریباً از قطر یک لامپ کوچک‌تر نخواهد بود و حداکثر نسبت Y محدود ۵، است زیرا تقارن دارد. حدود نسبت Z سطح انعکاس یا هوای باز و حد بالای تقریبی ۹۹/۹ درصد است. (Lash ۲۰۰۱)

جدول (۴) پارامترهای بدون بعد و حدود

Parameter	Description	Practical Range	
		Min	Max
W/H	Aspect ratio	1	5
r/l	Lamp aspect ratio	0.005	0.041
kPL/Q	Specific dose	0.014	2.1
x/W	X ratio	0.063	1.0
y/H	Y ratio	0.008	0.5
z/L	Z ratio	0.10	0.90
H/L	H ratio	0.100	2.0
ρ	Reflectivity	0.00	0.999

جدول (۵) مقادیر حداقل و حداکثر متغیر

Variable	Minimum	Maximum	Units	Description
W	1	3448	cm	Width
H	5	1148	cm	Height
L	1	2584	cm	Length
l	0.15	396.45	cm	Lamp arc length
x	0.15	396.45	cm	Lamp x2 coordinate
r	1.00	1.00	cm	Lamp radius
P	0.1464	396.45	W	UV power
y	0.12	292	cm	Lamp y coordinate
z	1.60	574	cm	Lamp z coordinate
k	0.00275	0.00275	$\text{cm}^2/\mu\text{W}\cdot\text{s}$	Rate constant
ρ	0.0	0.990		Reflectivity
Q	3.05	292	m^3/min	Airflow
t	0.0321	4.52	s	Exposure time
V	2.54	2.54	m/s	Velocity

پارامتر اصلی، تمامی پارامترهای تعاملی و تمامی جملات درجه بالاتر به صورت خلاصه آمداند که ۰/۱٪ کل مجموع مریع خطاهای (SSE) در تحلیل نتایج واریانس (AOV) است. ضرایب تابع (ستون دوم جدول ۷)، ضرایب توابع ستون اول هستند. مجموع مریعات بعدی (SS) در ستون سوم نمایش داده شده‌اند و درصد SSE کل در ستون پنجم است و مقادیر ρ نمایش داده شده‌اند و درصد SSE کل در ستون پنجم است و مقادیر

واریانس (VOA) نشان می‌دهد که دوز خاص یک عامل موثر است و غالب اثرات متقابل چندان اهمیت ندارند.

AOV نشان داد که توابع درجه بالاتر درگیر فرآیند هستند و تحلیل آماری نهایی با استفاده از روش سطح واکنش (RSM) در یک طرح کامپوزیتی مرکزی (CCD) و با استفاده از مدل درجه دوم انجام شد.

(Montgomery ۲۰۰۱)

علاوه بر ۲۵۶ مجموعه داده

تحلیل غربال 2^k فاکتوریل، نقاط اضافی موسوم به نقاط مرکزی و

نقاط ستاره دارد نیز همانند جدول (۶) لحاظ می‌شوند. نقطه‌ی مرکزی

این مدل مجموعه تمامی میانه‌های پارامترهای بدون بعد است. معمولاً،

چند نقطه‌ی مرکزی در آزمون‌های آزمایشگاهی اضافه می‌شود تا

برآورد دقیقی از خطای اتفاقی ارایه شود. اما، در این حالت هیچ خطای

راندمی وجود ندارد چون برنامه‌ی رایانه‌ای همواره نتایج یکسانی را برای مجموعه‌ای از خروجی‌ها

به دست می‌دهد و بنابراین تنها یک نقطه‌ی وسطی مورد نیاز است.

نقاط ستاره به کمک فاصله‌ی حداقل (پایین) یا حداقل (بالا)

مقدار هر پارامتر بدون بعد و ضرب

کردن آن در یک ثابت موسوم به دلتا به دست می‌آید که معمولاً این

مقدار دلتا $\sqrt{2}$ است این مقدار

معرف مجموعه‌ای متعادل از نقاط داده‌ای است که مربعی را (در دو

بعد) احاطه کرده‌اند که نقاط بالا و پایین را تعریف می‌کند.

۲۵۶ مجموعه‌ی داده از 3^k تحلیل فاکتوریل با نقاط ستاره و

نقاط وسطی یا مرکزی جدول (۶) تقویت شدند و با استفاده از نرم‌افزار

تحلیل آماری تجاری تحلیل (Minitab ۲۰۰۰) می‌شوند. در جدول (۷) نتایج هشت

جدول (۶) نقاط ستاره و نقاط مرکزی پارامترهای ورودی

Case	W/H	r/l	kPL/Q	x/W	y/H	z/L	H/L	ρ
Lo Star	1.00163	0.005	0.036	0.06	0.008	0.10	0.024	0.005
Min	1.588	0.010	0.390	0.200	0.080	0.220	0.310	0.15
Center	3.004	0.023	1.245	0.530	0.254	0.500	1.000	0.50
Max	4.420	0.036	2.100	0.860	0.428	0.780	1.690	0.85
Hi Star	5.0	0.041	2.5	1.0	0.500	0.90	2.0	0.9949

جدول (۷) تحلیل واریانس و ضرایب

Parameter Function	Function Coeff.	Sequential SS	% SSE	P Value
Constant	-5.5958	—	0	
W/H	0.0277	0.0206	0.01	0.629
r/l	-0.8097	0.028	0.02	0
kPL/Q	-20.722	85.0091	56.45	0
x/W	-0.2462	0.4656	0.31	0.19
y/H	0.0222	0.0369	0.02	0.945
z/L	2.6413	33.3581	22.15	0
ρ	0.6976	0.0049	0.00	0.005
H/L	-11.1739	15.1256	10.04	0
$(kPL/Q)^2$	7.859	3.1206	2.07	0
$(x/W)^2$	0.2761	0.2861	0.19	0.116
kPz/Q	-0.58384	3.275	2.17	0
kPH/Q	-0.114101	1.16	0.77	0
xz/WL	-0.54691	0.2935	0.19	0
$yz HL$	-1.23362	0.5398	0.36	0
zH/L^2	-0.42965	2.7562	1.83	0
$(kPL/Q)^3$	-1.4573	1.5834	1.05	0
$\text{sqrt}(kPL/Q)$	20.715	0.1952	0.13	0
$\text{atan}(H/L)$	16.2651	1.4054	0.93	0
$(H/L)^3$	0.91925	0.8165	0.54	0
S = 0.04987	R - Sq = 99.50%		R - Sq (adj) = 99.40%	
Source	DF	SS	MS	P
Regression	28	150.2	5.36	0
Residual	44	0.246	0.0017	
Total	272	150.6		

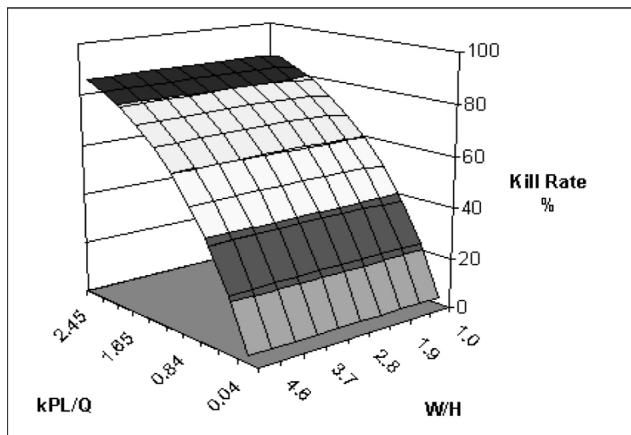
به صورت مستقل از همدیگر بهینه‌سازی کرد تا نرخ کشتار برای یک توان UV معین و دبی هوای خاص حداکثر شود. بنابراین، مقایسه‌ی پارامترها به صورت موردنی (مثال با مقایسه‌ی هر پارامتر با پارامترهای دیگر وقتی تمام پارامترهای دیگر ثابت هستند) اهمیت نسبی و رفتار هر پارامتر را نشان می‌دهد. در هر زوج پارامتر، ۱۰۰ تحلیل اجرا و ترسیم شد تا سطوح واکنش نمودار خط تراز برای نرخ کشتار ایجاد شوند. خط تراز بسیار مهم در اینجا خلاصه می‌شود و ارایه می‌گردد.

شکل (۳) سطح واکنش Q/kPL، دوز خاص را به همراه W/H (نسبت منظر کanal) نمایش می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که نسبت منظر کanal اثر کمی روی نرخ کanal دارد هر چند تقریباً در $W/H = 20$ ، یک پیک نسبی وجود دارد. شکل (۳) نیز نشان می‌دهد که نرخ کشتار به صورت غیرخطی به افزایش دوز خاص واکنش می‌دهد.

در حقیقت، این نرخ کاهش نهایی است و نتیجه‌ی مستقیم منحنی نزول نهایی مسخخه‌ی معادله‌ی (۱) است. شکل (۴) نشان می‌دهد که نرخ کشتار به صورت تقریباً خطی به افزایش قابلیت بازتابش برای تمام مقادیر نسبت منظری کanal واکنش می‌دهد. با مقایسه با شکل (۳) که در آن نرخ کشتار در بعضی از نقاط بالاتر از سطح تراز است، می‌توان نتیجه گرفت که در آن سوی بعضی از سطوح توان، می‌توان از افزایش قابلیت انعکاس بیشتر از افزایش توان نتیجه گرفت. همچنین، در نسبت منظر کanal بیشتر از تقریباً ۲۰٪ افزایش کمی در نرخ کشتار داریم اما این افزایش بهشدت قابل توجه است بهویژه اگر به محدودیت‌های دقت برنامه توجه کنیم.

شکل (۵) اثرات قابلیت بازتابشی و دوز خاص را مقایسه می‌کند. افزایش قابلیت بازتابشی، سبب افزایش خطی در نرخ‌های کشتار در پایین‌ترین مقادیر دوز خاص می‌شود، اما در دوزهای خاص بالاتر از تراز بالاتر می‌رود. این و اکتش به خاطر این حقیقت است که نرخ‌های کشتار در نزدیکی ۱۰۰ درصد از تراز خارج می‌شود. بهراتی می‌توان از این نمودار فهمید که اگر نرخ‌های

شکل (۳) نرخ کشتار برای دوز خاص همراه با نسبت منظر کanal



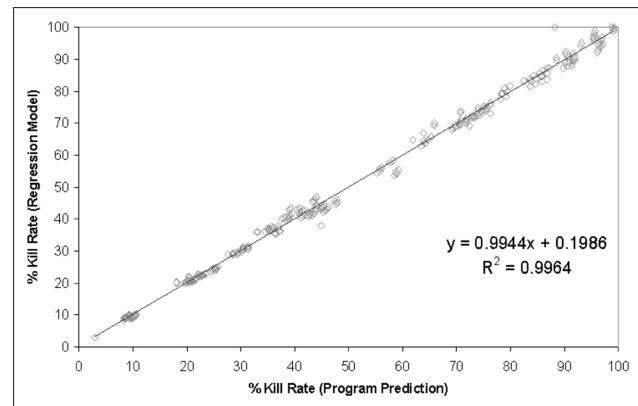
آماری در ستون‌های نهایی نمایش داده شده‌اند. خلاصه‌ی پایین جدول (۷) درجه‌ی آزادی (DF)، مجموعه مربعات، مربع میانگین (MS)، آمار آزمون تناسب (F) و مقدار p احتمال را نشان می‌دهد. مقادیر p کمتر از ۰،۰۰۰۵ به صورت صفر در جدول (۷) نمایش داده شده‌اند. نمودار احتمال داده‌های تناسب خوبی را با داده‌هایی دارند که تنها انحرافات کوچکی در کرانه یا حدود دارند. شکل (۲) نتایج ۲۷۳ مجموعه داده‌ها را ارزیابی آماری نمایش می‌دهد و توان پیش‌گویی مدل رگرسیون یا بازگشتی را نمایش می‌دهد. این مدل رگرسیون از توابع ضرایب و پارامتر جدول (۷) استفاده می‌کند.

این مجموعه داده‌ها با عنوان ورودی استفاده می‌شوند و نرخ کشتار پیش‌بینی شده بهوسیله برنامه با نرخ کشتار پیش‌بینی شده توسط مدل رگرسیون خطی مقایسه شده است. هر چند این مدل رگرسیون به خوبی نرخ کشتار در مجموعه داده‌های تحلیل فاکتوریل را پیش‌بینی می‌کند، اما در پیش‌بینی مجموعه داده‌های اتفاقی چندان موفق عمل نمی‌کند و به خودی خود جایگزین مناسبی برای این برنامه نیست. ارزش واقعی این مدل رگرسیون در اهمیت انواع پارامترهای سیستمی نهفته است که این مدل نشان می‌دهد. پارامترهای درجه اول بسیار مهم براساس مقادیر p کمتر از ۰،۰۰۰۵ دوز خاص، نسبت منظر لامپ، نسبت Z ، قابلیت انعکاس و نسبت ارتفاع هستند. نتیجه‌ی اصلی تحلیل مدل رگرسیون آن است که اثرات متقابل کمی بین هر کدام از پارامترهای بدون بعد وجود دارد. روی هم رفته، پارامترها و توابع جدول (۷) برای پیش از ۹۷ درصد توان پیش‌بینی مدل رگرسیون به کار می‌آیند.

نتایج تحلیل

در این بخش، پارامترهای بدون بعد متعددی مطالعه می‌شوند تا چگونگی اثر آن‌ها روی عملکرد و نحوه دست‌کاری آن‌ها معین شود. چون تعامل میان این هشت پارامتر بدون بعد اثر بسیار کمی دارند، این پارامترها را می‌توان

شکل (۲) نرخ کشتار پیش‌بینی شده برای مدل بازگشتی یا رگرسیون



دقیقاً معلوم نیست که لامپ چقدر باید به سطح نزدیک باشد زیرا دیهای میان لامپ و کanal در بعضی از نقاط تداخل دارند. این موضوع بعداً مطالعه خواهد شد، اما عملاً فرض می‌شود که این حد تقریباً برابر قطر یک لامپ در سرعت هوای طراحی است. چون قبل از تداخل با دبی هوای باید حدی برای میزان نزدیکی یک لامپ به یک سطح بازتابشی قابل شد، می‌توان این گونه فرض کرد که یک نسبت Y بهینه باید برای هر ترکیب سیستم بازتابشی انتشاری UVGI موجود باشد. شکل (۶) نشان می‌دهد که نسبت

منظر لامپ روی اثر مجاورت اثر می‌گذارد و در مقادیر پایین بهینه است.

مطالعات اولیه روی سطوح بازتابشی طبیعی اثر مجاورتی مخالف را نشان می‌دهد. محل بهینه‌ی استقرار لامپ از سطوح بازتابشی طیفی دور است. این را می‌توان با بیان این حقیقت توضیح داد که در شدت میدان‌های متتمرکز تولید شده به وسیله بازتابش‌های طیفی برخلاف بازتابش‌های انتشاری، توزیع بسیار ناکارامدی دارد که بر نابودی میکروارکانیسم‌ها اثر می‌گذارد. اما باید روی سطوح طیفی بیشتر مطالعه کرد و مدل ارزیابی شده در این مقاله دقیقاً برای سطوح انتشاری است.

شکل (۷) سطح پاسخ نسبت X و نسبت Y را نشان می‌دهد. نسبت X طول قوس لامپ بر عرض کanal (شکل ۱) است. نرخ کشتار با کوتاه کردن طول لامپ نسبت به عرض کanal حدود ۱۵ درصد تقویت می‌شود. هر چند این اثر به اثر مجاورتی نسبت Y شبیه است، اما تولید افزایش محلی شدت متوسط ایجاد نمی‌شود بلکه با بهینه‌سازی بازدهی سیستم از اصلاح هندسی آن به دست می‌آید.

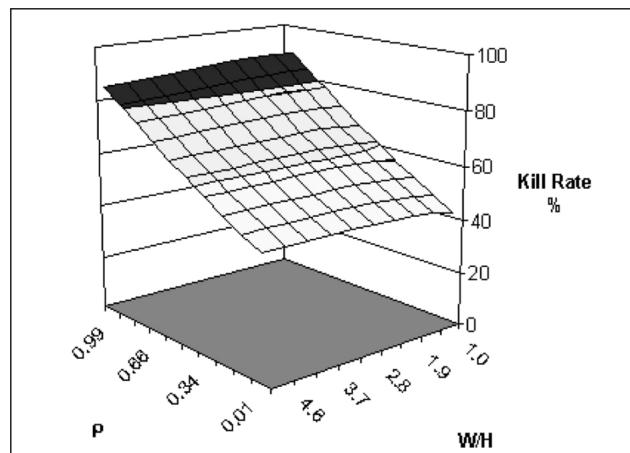
حداقل سازی نسبت‌های X و Y سبب تقویت حداقل تا ۲۵ درصدی در نرخ کشتار می‌شود. البته، اگر قابلیت بازتابش انتشاری پایین باشد، چندان نمی‌توان از اثر مجاورتی استفاده کرد. اما بسیار محتمل است که بتوان یک سیستم UVGI را مهندسی نمود تا اثر مجاورتی در اغلب موارد استفاده شود. واضح است که کنترل اثر مجاورتی که در قاب‌های بازتابشی انتشاری می‌تواند سبب صرفه‌جویی زیاد در مصرف انرژی شود چون سبب کاهش توان لامپ به صورت غیرخطی می‌گردد و می‌توان شاهد افزایش نرخ کشتار بود. (شکل ۳) نسبت Z معرف عمقی از کanal است که لامپ در آن کوتاه تا حداقل ۰.۹ (شکل ۱). نسبت Z از حداقل ۰.۱ در تقریباً سطح ورودی کanal تا حداقل ۰.۹ در خروجی کanal متغیر است. بدینهی است که حداقل نرخ کشتار در نسبت Z برابر ۰.۵، یا دقیقاً در مرکز و در امتداد طول کanal اتفاق می‌افتد. چون معمولاً در صنعت لامپ را در وسط هر کanal تعییه می‌کنند، شواهد این تحقیق نیز نشان می‌دهد که این کار صحیح است.

نسبت ارتفاع و دوز خاص

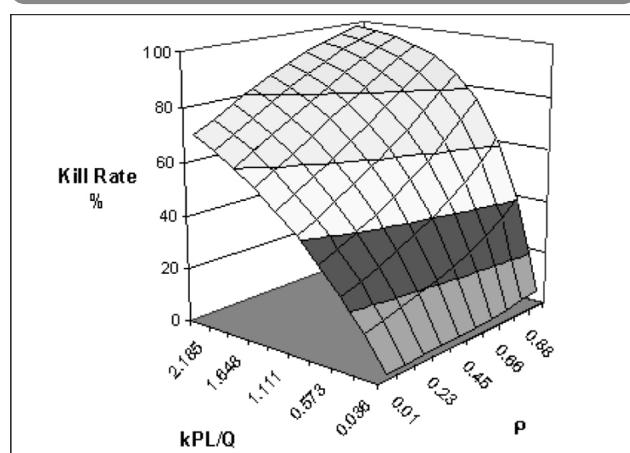
نسبت H ، نسبت ارتفاع سطح کanal به ارتفاع کanal است مانند غالباً پارامترهای دیگر، نمودار نسبت ارتفاع نتایج مشابه را نشان می‌دهد و این امر به پارامتری که همراهش در نمودار ترسیم شده‌اند، بستگی ندارد. شکل (۹) نشان می‌دهد که کانالی که از این ارتفاع کوتاه‌تر است، نرخ کشتار شدیدتری

کشتار یکسان را بتوان با افزایش قابلیت بازتابش به دست آورد، در آن صورت هزینه‌ی افزایش توان لامپ شاید چندان ضروری نباشد. اما این موضوعی است که باید مورد ارزیابی اقتصادی مفصل قرار گیرد. در شکل (۶) نسبت Y و نسبت منظر لامپ ترسیم شده است. این شکل اثر مطلوب را نشان می‌دهد. اگر لامپ به سمت سطح بازتابشی انتشاری حرکت کند، نرخ کشتار تقریباً ۱۵ درصد افزایش می‌یابد. این پدیده‌ی دور از عقل اثر مجاورت^۲ نامیده می‌شود. این نتیجه‌ی مطلوبی است زیرا معمولاً در صنعت، لامپ‌های UV را در محلی در وسط کanal قرار می‌دهند. این افزایش کارآیی بدون ایجاد هزینه‌ی اضافی است چون به ندرت نیاز به تعویض و جای‌گذاری لامپ داریم.

شکل (۴) نرخ کشتار برای قابلیت انعکاس در برابر نسبت منظر کanal



شکل (۵) نرخ کشتار برای دوز خاص و قابلیت انعکاس



کاربرد دارد. به علاوه دمای هوا و سرعت هوا عواملی هستند که بر خروجی UV لامپ اثر می‌گذارند و با وجود این، این اثرات را نمی‌توان به تمام لامپ‌ها تعمیم داد چون غالب شرایط کاری لامپ‌ها به دمای هوا و سرعت هوا نیاز دارند تا بعضی از بازده‌ها باقی بمانند و یا زیر مقدار خاص باشند تا خروجی UV لامپ حفظ شود. هرچند این تحلیل نظری روی پارامترهای بدون بعد سیستم‌های UVGI بازتابش انتشاری نتایج مهمی به دست می‌دهد اما عملاً استفاده از آن محدود است زیرا تاسیسات UVGI فضای کوچکی برای کنترل و دست کاری پارامترهای طراحی دارند. در یکی از این تاسیسات که اخیراً نگارندگان از آن بازدید کرده‌اند، مشاهده شد که تقویت نرخ کشتار برای یک حاشیه‌ی ایمنی ضرورت دارد. مقدار

ایجاد می‌کند اما طول بهینه را مسایل اقتصادی تعیین می‌کند. یعنی، مقدار بهینه‌ی واقعی L/H را نمی‌توان فقط براساس نرخ کشتار به دست آورد چون به شدت به مسایل اقتصادی وابسته است. تحلیل اقتصادی قبلی نشان داد که یک طول بهینه برای هر مجموعه از پارامترهای سیستم UVGI وجود دارد (kowalski ۲۰۰۱). بنابراین، چندان نمی‌توان از نتایج تحلیل بی‌بعد برای نسبت H نتایج قطعی گرفت.

در این جایی از به ارایه مثال‌های بیشتر نیست زیرا در مقایسه سطوح واکنش باقی مانده به ندرت اثرات قبل ذکر شده مجدداً ترکیب می‌شوند و مثال‌های قبلی به خوبی روابط بحرانی را نشان داده‌اند.

بهینه‌سازی کارایی

می‌توان به کمک نتایج به دست آمده‌ی قبلی، شرایطی را تعیین داد که تحت آن شرایط کارایی سیستم‌های UVGI کانالی مستطیلی را بهینه نمود. وقتی نسبت منظر از مقادیر بازه‌ی ۴-۵۰٪ بیشتر باشد، سبب اندکی افزایش در نرخ کشتار می‌شود، اما نرخ کشتار تنها کسری یا درصدی است و چندان قابل توجه نیست. وقتی نسبت Z دارای میانه‌ی ۵٪ باشد، سبب ایجاد نرخ کشتار بهینه خواهد شد. نسبت منظر لامپ اگر حداقل شود همراه باشد با اثر مجاورتی نرخ کشتار بهینه ایجاد می‌کند.

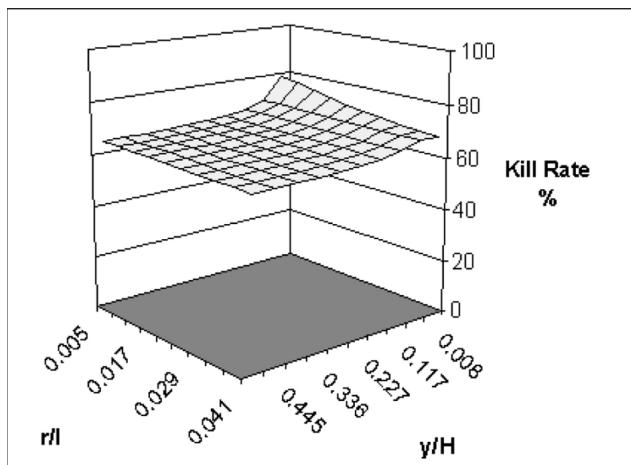
اگر نسبت X حداقل شود، نرخ کشتار بهینه ایجاد خواهد کرد. اما اگر از ۵٪ کمتر نباشد، باید آن را حداقل کرد. زیرا وقتی یک لامپ کل عرض کanal را تحت پوشش قرار می‌دهد، اثر مجاورتی در هر دو سر کanal کار می‌کند. شرایط دنیای واقعی وضعیتی را که در آن نسبت X را می‌توان حداقل نمود، محدود می‌کند زیرا لامپ‌ها در طول‌های مجزا موجودند و لامپ‌های کوتاه‌تر به طور نامتناسب توان خروجی را پایین می‌آورند.

اگر نسبت Y حداقل شود، سبب ایجاد نرخ کشتار بهینه می‌شود، هر چند تعریف مقدار بهینه دشوار است زیرا اگر یک لامپ زیاد به یک سطح نزدیک باشد، سبب کاهش دبی هوای محلی بین لامپ و سطح می‌شود. در این مقاله فرض می‌شود که لامپ نمی‌تواند بیشتر از قطر یک لامپ به سطح نزدیک باشد (تحت سرعت هوای طراحی $400-500\text{ fpm}$) (۲-۲.۵ M/S) بدون این که طبق بررسی چند میدان جریان kundu) اطراف استوانه سبب محدودشدن دبی هوای بین لامپ و سطح شود.

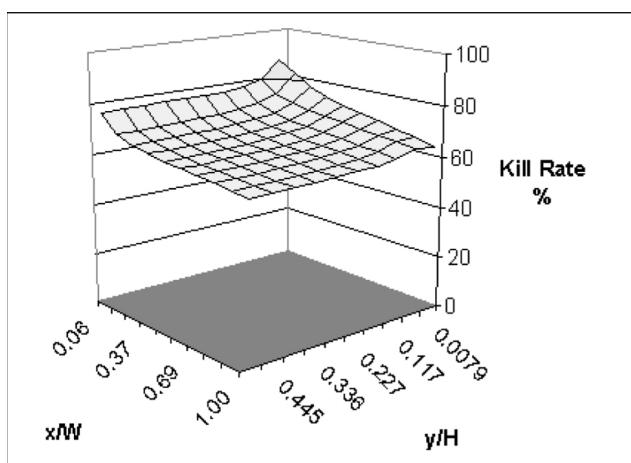
Gordon ۱۹۷۸، ۱۹۷۷، نسبت بهینه‌ی Y موضوع تحقیقات آینده است. در شکل‌های (۳) تا (۶)، تمام هشت پارامتر نشان داده شده‌اند. در غالب مقایسه‌های، وضعیت بهینه در نقطه‌ی بالاترین نرخ کشتار بدینه و منحصر به فرد است، علاوه بر این هشت پارامتر ارزیابی شده، پارامتر باقی مانده در این مدل لحاظ نشد (رطوبت نسبی) و احتمالاً این پارامتر مقدار بهینه یا بازه‌ی واکنش نوری به آن اشاره شده است.

رطوبت نسبی بهینه شاید زیر ۶۵ درصد (RH) باشد هر چند هنوز روشن نیست که آیا در مورد تمام میکروب‌های هوابرد یا گونه‌های میکروبی

شکل (۶) نرخ کشتار برای نسبت منظری لامپ و نسبت Y



شکل (۷)



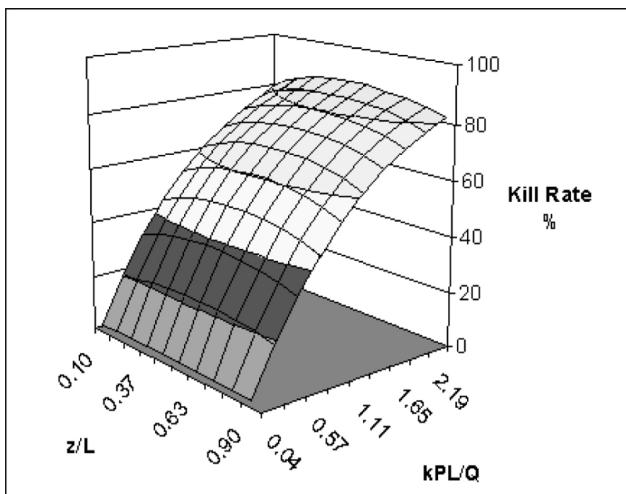
در صد نرخ کشتار، نرخ کشتار به خاطر افزایش توان در مقایسه با حالتی که در آن افزایش قابلیت انعکاس داشتیم، کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، وقتی حداقل سطح توان ورودی برای هر سیستم معینی تعریف شده است، افزایش قابلیت بازتابش بسیار بهتر از افزایش توان لامپ UV است. این امر می‌تواند سبب صرفه‌جویی انرژی یک سیستم بهینه شود. کاربرد عملی این اصل دست‌یابی به مشخصه سطح دارای انعکاس بالای طیفی یا انتشاری در هر سیستم UVGI برای تقویت کارآیی یا کاهش هزینه‌های کاری و هزینه لامپ است.

تحقیقات اضافی را باید در چند حوزه‌ی دیگر انجام داد. مدل قابلیت انعکاس براساس سطوح بازتابش انتشاری است و هجیج نتیجه‌ی کمی نمی‌توان از سطوح طیفی گرفت تا وقتی که مدل‌های طیفی بیشتر توسعه یابند. کنترل و دست‌کاری RH برای دست‌یابی به نرخ واپاشی بالا و حداقل کردن اثرات واکنش نوری حوزه‌ی دیگری است که نیازمند تحقیق بیشتر است. ملاحظات و نکات مکانیک سیالات، فاصله‌ی دقیق محل قرارگیری یک لامپ در نزدیکی سطوح بازتابشی را محدود می‌کنند و در این رابطه هم باید در آینده تحقیقات بیشتری انجام داد.

نتایج نظریه ارایه شده در این مقاله را می‌توان از طریق آزمون‌های میکروبیولوژیکی اثبات کرد. تحقیقات در دست انجام نگارندگان نتایج این مطالعه را بیشتر گسترش خواهد داد و هدف نهایی توسعه‌ی یک سیستم UVGI کاملاً بهینه است که مصرف انرژی را حداقل و کارآیی سیستم را حداکثر می‌کند.

چنین تحقیقی سبب دست‌یابی به سیستم‌های ضدغوفونی هوای به صرفه‌ای می‌شود که سبب کاهش عالیم بیماری‌های هوابرد در محیط‌های داخلی و بهبود سیستم‌ها برای حفاظت از ساختمان‌ها در برابر رهکردن عمدی

شکل (۸) سطح پاسخ نسبت Z و دوز خاص را نشان می‌دهد



q/KPL تقریباً ۱۳۵ و قابلیت بازتابش ۰.۵۴ (یا ۵۴٪) است که نرخ کشتار حدود ۷۰٪ را به دست می‌دهد. (شکل ۵) پیشنهاد شد که به جای استفاده از روش پرهزینه‌ی اضافه کردن لامپ یا افزایش توان لامپ، ورق‌های آلومینیومی، اضافه شوند و قابلیت انعکاس ۷۵ درصد تقویت شود که سبب افزایش ۸۰ درصدی در نرخ کشتار بدون هزینه اضافی می‌گردد. برای به دست آوردن افزایش نرخ کشتار، مقدار Q/kPL برابر ۱،۷۸ به افزایش ۳۲٪ در وات UV نیاز دارد. راهکار بعدی بسیار پرهزینه بوده است و حدود ۵۰ وات UV اضافی ایجاد کرده است.

نتیجه‌گیری

تحلیل ابعادی مذکور در این مقاله هشت پارامتر را معرفی نمود که برای بهینه‌سازی کارآیی سیستم ضدغوفونی هوای UVGI مستطیلی با سطوح انعکاسی انتشاری بسیار ضروری است. تحلیل آماری نشان داد که اثرات متقابل در اغلب موارد چندان مهم نیست. بدون تعامل زیاد، غالب این پارامترها را می‌توان به صورت مستقل کنترل و بهینه نمود تا عملکرد و کارآیی سیستم اصلاح شود.

تحلیل این پارامترهای بدون بعد نتایج جالبی را نشان داد. اساسی‌ترین پارامتر بدون بعد در میان این پارامترها شناخت اثر مجاورتی است: پدیده‌ای که در آن استقرار لامپ‌ها در نزدیکی سطوح انعکاسی انتشاری می‌تواند سبب افزایش شدت میدان UV بسته شود. اثر مجاورتی می‌تواند در سیستم‌های انعکاسی انتشاری بدون هزینه کنترل شود و سبب ۲۵ درصد افزایش یا بیشتر لامپ شود.

هر چند این در مورد سیستم‌های انعکاسی طیفی رایج صحت ندارد، اما می‌توان از آن در سیستم UVGI باز گردش یا درون کانالی استفاده کرد. به این ترتیب که لامپ‌های UV به جای وسط بیشتر به کناره‌ها نزدیک هستند نکته‌ی بعدی این است که در بالای بعضی از سطوح عملکرد (مثلاً ۵۰

عوامل بیولوژیکی می شود.

پی نوشت:



- 1- photoreactivation
- 2- Decay rate
- 3- Proximity / effect

REFERENCES

- ASHRAE. 1993. 1993 ASHRAE Handbook—Fundamentals. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- Gordon, D. 1978. Numerical calculations on viscous flows fields through cylindrical arrays. *Computers & Fluids* 6(1): 1-13.
- IES. 1981. Lighting Handbook Application Volume. New York: Illumination Engineering Society.
- Kowalski, W.J., and W.P. Bahnfleth. 2000. Effective UVGI system design through improved modeling. *ASHRAE Transactions* 106(2): 4-15.
- Kowalski, W. J., W.P. Bahnfleth, D. Witham, B.F. Severin, and T.S. Whittam. 2000. Mathematical modeling of UVGI for air disinfection. *Quantitative Microbiology* 2(3): 249-270.
- Kowalski, W.J. 2001. Design and optimization of UVGI air disinfection systems. Ph.D. thesis, The Pennsylvania State University.
- Kundu, P.K. 1990. Fluid Mechanics. New York: Academic Press, Inc.
- Lash, D.J. 2000. Performance benefits of highly reflective diffuse materials in lighting fixtures. *J. of Illum. Eng. Soc.* Winter:11-16.
- Lidwell, O.M., and E.J. Lowbury. 1950. The survival of bacteria in dust. *Annual Review of Microbiology* 14: 38-43.
- Linden, K.G., and J.L. Darby. 1994. Ultraviolet disinfection of wastewater: Effect of dose on subsequent reactivation. *Water Res.* 28: 805-817.
- Minitab. 2000. Minitab Statistical Software Release 13.20. Minitab, Inc.
- Montgomery, D.C., 2001. Design and Analysis of Experiments. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Munakata, N., and C.S. Rupert. 1974. Dark repair of DNA containing spore photoproduct. In *Bacillus subtilis*, Molec. Gen. Genet. 130: 239-250.
- Peccia, J., and M. Hernandez. 2001. Photoreactivation in airborne *Mycobacterium parafumatum*. *Appl. and Environ. Microbiol.* 67.
- Peccia, J., H.M. Werth, S. Miller, and M. Hernandez. 2001. Effects of relative humidity on the ultraviolet induced inactivation of airborne bacteria. *Aerosol Sci. & Technol.* 35: 728-740.
- Rahn, R.O., and J.L. Hosszu. 1969. Influence of relative humidity on the photochemistry of DNA films. *Biochim. Biophys. Acta.* 190: 126-131.
- Rahn, R.O., P. Xu, and S.L. Miller. 1999. Dosimetry of room-air germicidal (254 nm) radiation using spherical actinometry. *Photochim and Photobiol* 70(3), 314-318.
- Rentschler, H.C., R. Nagy, and G. Mouromseff. 1941. Bactericidal effect of ultraviolet radiation. *J. Bacteriol.* 42: 745-774.
- Rentschler, H.C., and R. Nagy. 1942. Bactericidal action of ultraviolet radiation on air-borne microorganisms. *J. Bacteriol.* 44: 85-94.
- Riley, R.L., and J.E. Kaufman. 1972. Effect of relative humidity on the inactivation of airborne *Serratia marcescens* by ultraviolet radiation. *Applied Microbiology* 23(6): 1113-1120.
- Setlow, J.K. 1966. Photoreactivation. *Radiat. Res. Suppl.* 6: 141-155.
- UVDI. 2002. Summary report on bioassay test results for 3 bacterial species under UV exposure performed by Research Triangle Institute. Ultraviolet Devices, Inc.
- Westinghouse. 1982. Booklet A-8968. Westinghouse Electric Corp., Lamp Div.

شکل (۹) نمونه‌ای از هشت پارامتر را نشان می‌دهد

