بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۵-۱۶ بهمن ۱۳۹۸

# بررسی تجربی پارامترهای اثرگذار در ساخت فیبر مخروطی لنزشده

**نوید صالحی، آتوسا سادات عربانیان، رضا مسعودی***

پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، تهران.( *R-massudi@sbu.ac.ir )

**در این مقاله به مطالعه پارامترهای اثرگذار در ساخت فیبر مخروطی لنزشده پرداخته میشود. ابتدا روش زدایش شیمیایی داخل فیبر روکش دار به منظور ساخت فیبر مخروطی تو صیف شده ا ست. در این روش فرآیند ت شکیل مخروط داخل سیلندر پلیمری روکش فیبر که قبل از انجام فرآیند جدا نمی شود، رخ میدهد. تاثیر دما، غلظت ا سید و نوع فیبر بر زاویه مخروط به صورت تجربی مطالعه شده ا ست. سپس یک روش تکرارپذیر برای ساخت لنز با شعاع دلخواه در انتهای فیبر مخروطی به منظور ر سیدن به واگرایی و قطر لکه مشخص، مورد بررسی قرار گرفته است.**

کلید واژه- فیبر نوری، فیبرهای لنز و مخروط شده، کیفیت سطح مخروط فیبری، مهندسی نور خروجی از فیبر

# Experimental investigation of effective parameters in lensed-tapered optical fiber fabrication

Navid Salehi, Atoosa Sadat Arabanian, and Reza Massudi*

Laser and Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Tehran. (*R-massudi@sbu.ac.ir)

**In this paper, the study of effective parameters in fabrication of optical tapered-fiber lenses is performed. First, a method, called tube etching for the fabrication of tapered optical fiber is presented. Tapered-tip formation occurs inside a cylindrical cavity formed by the polymer coating of an optical fiber which is not stripped away prior to etching in hydrofluoric acid. The influence of temperature, etchant concentration, and fiber type on the tapered-tip angle is experimentally studied. Then, we have investigated a method to produce lensed-tapered optical fiber with a given lens radius to achieve the required divergence and spot size in a repeatable fashion.**

Keywords: Optical fiber, Tapered-Lensed Fiber Tip, Tapered fiber Tip Quality, Fiber Output Characteristics



این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-11-18 ]

## مقدمه

فیبرهای مخروط و لنزشده کاربردهای فراوانی در حوزه دستگاه های مجتمع نوری، جفت شدگی لیزرهای دیودی و نیمه رسانا به داخل فیبر و ... دارند؛ به عنوان مثال برای بهبود بازدهی جفت‌شدگی باریکه خروجی لیزرهای نیمه رسانا به درون فیبر معمولاً از عدسی های میکرومتری جهت اصلاح ویژگی های باریکه استفاده می‌شود. همچنین در مواردی چون اتصالات نوری دستگاه های MEMS، المانهای اپتیک فیبری بسیار کوچک، انبرک های نوری بر پایه فیبر و ...، لنزهای میکرومتری مستقیماً در انتهای فیبر ساخته می شوند[۱]. روش های متنوعی برای ساخت لنزهای میکرومتری در انتهای فیبر مورد استفاده قرار گرفته که رایج ترین این روشها زدایش شیمیایی، مخروطی کردن انتهای فیبر توسط فرآیند حرارت بی‌دررو، پولیش مکانیکی فیبر و میکروماشین کاری توسط لیزر CO2 است[۲].

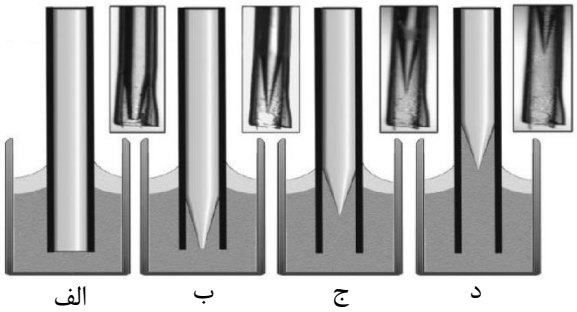
در این پژوهش رویکرد دو مرحله‌ای شامل زدایش شیمیایی و ذوب برای ساخت فیبر هایی با انتهای مخروطی و لنز شده به کار گرفته شده است. هدف از این فرآیند دومرحله‌ای در مرحله اول ساخت انتهای مخروطی شکل و کاهش تدریجی ضخامت فیبر به منظور کاهش توان اتلافی مد اصلی فیبر و در مرحله دوم اعمال حرارت کنترل شده به انتهای مخروط جهت ساخت لنز مطلوب طی یک فرآیند قابل تکرار می‌باشد[۳].

## تئوری ساخت مخروط در انتهای فیبر

روش‌های مرسوم زدایش شیمیایی برای ساخت مخروط در انتهای فیبر بر پایه افت موئینگی سطح تماس اسید خورنده هیدروفلوریک اسید ( HF ) و لایه پوششی روغنی در مجاورت فیبر است. فرایند شیمیایی میان اسید HF و فیبر، طی فرآیندی دومرحله‌ای مطابق معادلات شیمیایی ۱ انجام میشود[۴].

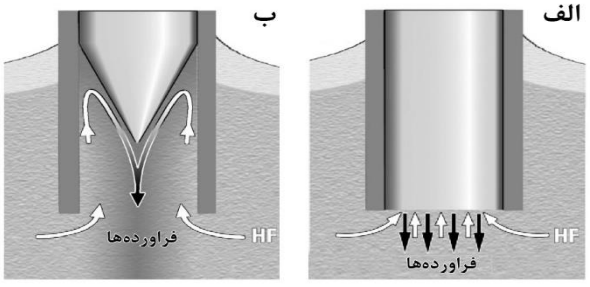
$$SiO_2 + 4HF \rightarrow SiF_4 + 2H_2O$$
$$3SiF_4 + 2H_2O \rightarrow SiO_2 + 2H_2SiF_6 \quad (۱)$$

که محصولات آن سنگین‌تر از اسید HF بوده و در انتهای ظرف ته نشین می شوند. روش زدایش شیمیایی داخل روکش فیبر (Tube etching) روشی است که علاوه بر غلبه بر مشکلات روش مرسوم، تکرار پذیری بالایی دارد. در این روش برخلاف روش مرسوم، فیبر به همراه روکش داخل اسید قرار می گیرد و از پوشش روغنی صرفاً جهت جلوگیری از بخار شدن اسید استفاده می شود [۴]. در شکل ۱ مراحل تشکیل مخروط داخل روکش فیبر نمایش داده شده است.



شکل ۱ - مراحل تشکیل مخروط داخل روکش فیبر

در ابتدا با توجه به هندسه فیبر، زدایش در لایه‌های بیرونی کمی سریعتر از مرکز رخ می‌دهد(شکل ۲-الف). بلافاصله پس از ایجاد مخروط اولیه، نفوذ HF از دیواره ها شروع خواهد شد. مطابق شکل ۲-ب یک جریان همرفت به دلیل گرادیان غلظت حاصل از فرایند زدایش و تاثیر جاذبه بر فرآورده‌های آن ایجاد می شود. این جریان همرفت موجب تشکیل مخروط در انتهای فیبر می‌شود.



شکل ۲ – نحوه تشکیل مخروط توسط جریان همرفتی اسید خورنده و فرآورده‌های واکنش



این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-11-18 ]

جریان همرفت میان واکنش دهنده ها و فرآورده ها و در در نتیجه نرخ زدایش به صورت خطی با افزایش دما افزایش می یابد. با افزایش پخش شدگی به دلیل افزایش نرخ زدایش، نوک فیبر کمتر تیز خواهد شد. بنابراین با افزایش نرخ زدایش، زاویه مخروط کاهش پیدا میکند زیرا HF با احتمال بالاتری نوک مخروط مصرف می شود [۵]. با توجه به این مدل می‌توان انتظار داشت که هندسه مخروطی انتهای فیبر با جریان همرفت و وابستگی آهنگ زدایش به دما بستگی داشته باشد.

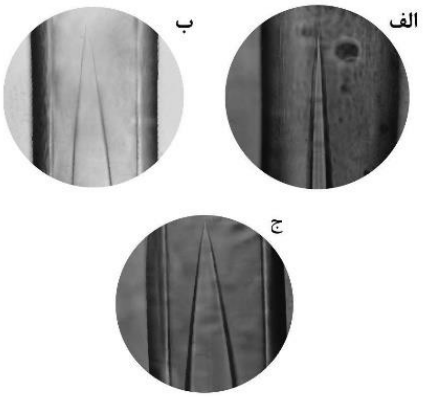
## نتایج تجربی

در این بخش ابتدا به بررسی تجربی عوامل موثر در ساخت هندسه مخروطی شکل فیبر پرداخته و تاثیر هر کدام در زاویه مخروط فیبر حاصل از فرآیند زدایش گزارش می‌شود. ساخت هندسه مخروطی در نوک فیبر روکش دار برای مدل های تجاری مختلف به ازای اسید HF با غلظت ۳۲ درصد، دمای محیط آزمایشگاه و مدت زمان ۲۰۰ دقیقه انجام شد و زوایای مخروط اندازه گیری شده مطابق جدول ۱ بدست آمده است.

جدول ۱ - زاویه مخروط به ازای فیبر های تجاری مختلف

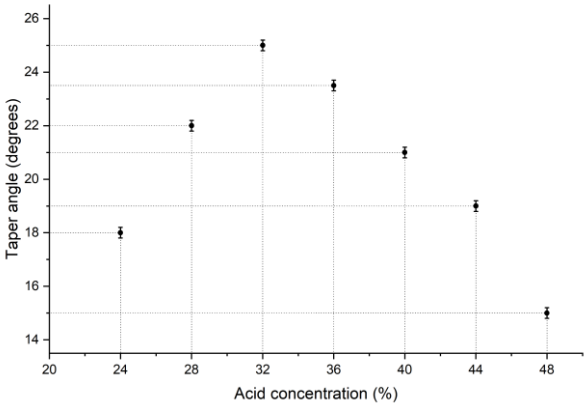
| مدل فیبر | زاویه مخروط |
|---|---|
| HI-1060-XP | 25 ±1 |
| S60-HP | 22 ±1 |
| SM-LWP | 37 ± 1 |
| SMF-28 | 19 ±1 |
| 1060-XP | 23 ± 1 |
| 980-HP | 13 ±1 |

همانطور که مشاهده می شود جنس فیبر و روکش آن در تعیین زاویه مخروط تاثیر مهمی دارد که علت آن تفاوت نرخ زدایش شیمیایی برای فیبر های مختلف است. در شکل۳ تصویر مخروط تشکیل شده در انتهای تعدادی از فیبر های استفاده شده در جدول۱ آورده شده است.




شکل ۳ – تصویر نوک مخروطی فیبر های الف)HP-980 ب)1060-XP ج)HI-1060-XP به ازای شرایط زدایش یکسان

غلظت مطلوب اسید به کار رفته در آزمایش معمولا بر اساس رسیدن به زاویه مخروط بزرگتر انتخاب می‌شود، به عنوان مثال زاویه مخروط حاصل از زدایش فیبر HI-1060-XP به ازای اسید HF با غلظت های متفاوت و دمای محیط و مدت زمان ۲۰۰ دقیقه مطابق شکل۴ بدست آمده است و همانطور که دیده می‌شود غلظت بهینه برای دستیابی به زاویه مخروط بزرگتر، ۳۲ درصد بدست آمده است.



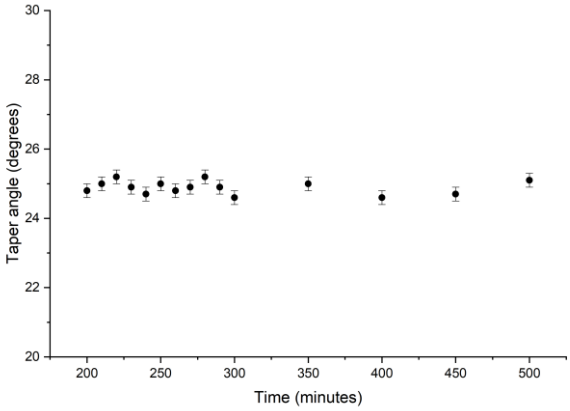

شکل ۴- زاویه مخروط به ازای غلظت های متفاوت اسید HF

آزمایشات نشان داد که مدت زمان لازم برای ایجاد فرآیند مخروطی شدن کامل فیبر در دمای محیط آزمایشگاه و اسید HF ۳۲ درصد و برای فیبرHI-1060-XP ، ۲۰۰ دقیقه می‌باشد و بیشتر از این زمان تغییر چندانی در شکل فیبر، زاویه مخروط و کیفیت سطح مشاهده نمی‌شود (شکل ۵).



این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-11-18 ]




شکل ۵- تاثیر زمان فرآیند زدایش در زاویه مخروط پس از شکل گیری

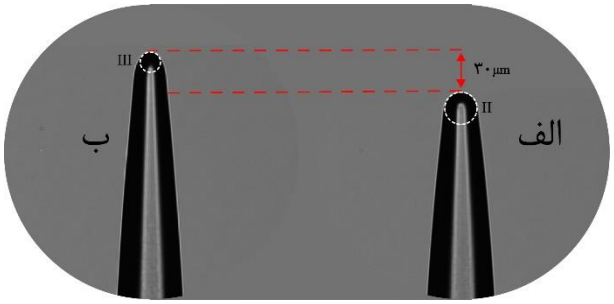
با بررسی فرآیند در دماهای مختلف، تاثیر دمای محیط در زاویه مخروط مورد بررسی قرار گرفت که نتایج این آزمایشات مطابق جدول ۲ می‌باشد.

جدول ۲- تاثیر دما بر زاویه مخروط

| نوع فیبر | زاویه مخروط (دمای ۲۵ درجه سیلسیوس) | زاویه مخروط (دمای ۲۰ درجه سیلسیوس) |
|---|---|---|
| HI-1060-XP | ۲۵ ± ۱ | ۲۹ ± ۱ |
| S60-HP | ۲۲ ± ۱ | ۲۷ ± ۱ |
| SMF-28 | ۱۹ ± ۱ | ۲۱ ± ۱ |

همانطور که از توضیحات بخش قبل نیز انتظار میرفت برای هر سه مدل فیبر مورد بررسی با افزایش دما از ۲۰ به ۲۵ درجه، زاویه مخروط کاهش می‌یابد.

پس از انجام آزمایشات مربوط به مخروط سازی فیبر، فرآیند لنزسازی نوک فیبر مخروطی شده توسط اعمال حرارت کنترل شده مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور از دستگاه پردازش شیشه Vytran GPX3400 استفاده شده که امکان اعمال توان حرارتی در فاصله مشخص از نوک فیبر را در بازه زمانی قابل کنترل فراهم میسازد. پس از برداشتن روکش فیبر مخروطی شده، فرآیند لنزسازی فیبر با تنظیم پارامترهای مختلف سیستم انجام شد. با اعمال توان‌های کمتر از ۵۸ وات به فیلامنت تغییری در مخروط فیبری مشاهده نشد. به ازای توان ۵۸ وات و مدت زمان ۵ ثانیه فیبر حالت مخروطی خود را از دست داد و در اثر جاذبه در نوک آن خم شدگی مشاهده شد. با کاهش مدت زمان اعمال حرارت به ترتیب به ۲ و ۱ ثانیه شعاع‌های لنز ۲۳ و ۱۱ میکرون بدست آمد( شکل ۶). بنابراین میتوان با تنظیم زمان و توان حرارت اعمالی، شعاع دلخواه لنز را بدست آورد.




شکل ۶ – تصویر نهایی فیبر مخروطی و لنز شده با شعاع لنز الف)۲۳ و ب) ۱۱ میکرومتری. دایره های II و III مماس به لنز بوده و شعاع آنها به ترتیب برابر ۲۳ و ۱۱ میکرومتر میباشد.

## نتیجه‌گیری

در این پژوهش نحوه ساخت فیبر مخروطی و لنز شده برای زاویه های مختلف مخروط و شعاع لنز مد نظر ، بیان شده و عوامل موثر در ساخت مخروط فیبری و لنز در نوک فیبر تشریح شده است. بنابراین برای دستیابی به زاویه مخروط و شعاع لنز دلخواه میتوان با تغییر کمیت های بررسی شده در این پژوهش اقدام نمود.

## مرجع‌ها

**[1]** Yang, H., et al., *An optimum approach for fabrication of tapered hemispherical-end fiber for laser module packaging.* Journal of electronic materials, 2001. **30**(3): p. 271-274.

**[2]** Baron, J. and R. Kashyap. *Fabrication, characterisation, and optimisation of optical fibre lenses*. in *Photonics North*. 2005. SPIE.

**[3]** Barnard, C.W. and J.W. Lit, *Single-mode fiber microlens with controllable spot size.* Applied optics, 1991. **30**(15): p. 1958-1962.

**[4]** Sayah, A., et al., *Fiber tips for scanning near-field optical microscopy fabricated by normal and reverse etching.* Ultramicroscopy, 1998. **71**(1-4): p. 59-63.

**[5]** Verhaverbeke, S., et al., *The etching mechanisms of SiO2 in hydrofluoric acid.* Journal of The Electrochemical Society, 1994.: p. 2852-2857.



این مقاله درصورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-11-18 ]