

شکل ۱. طیف گرمالیانی دزیمتر LiF(Mg,Cu,P) بعد از پرتو دهی با دز ۱۴ Gy با چشمه بتا.

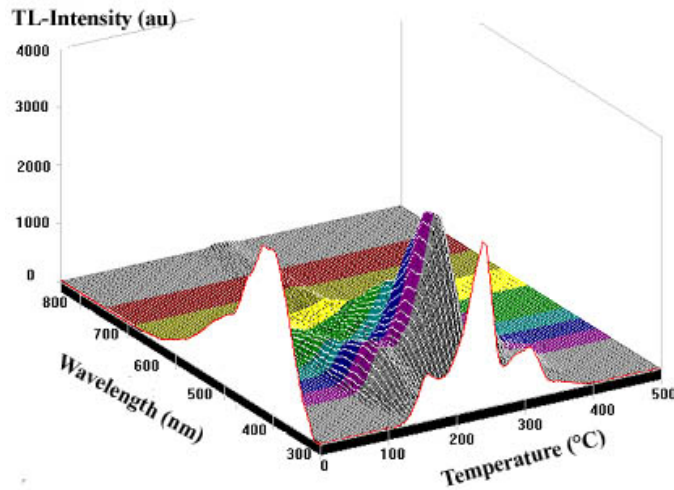
خلوص فوق خالص<sup>۱</sup> و ناخالصی های Cu و Mg نیز به ترتیب با مقادیر ۰.۰۲ mol٪ از MgF<sub>۲</sub> و ۰.۰۵ mol٪ از CuCl<sub>۲</sub> تهیه شدند. نمونه‌ها، در بوته‌ای از جنس بور-نیتريت در یک کوره القایی مدل (PH ۱۰۱۲/۱۶) تحت گاز آرگون ذوب شدند. بعد از مرحله رشد بلور با روش چرخالسکی، تک بلور تحت شرایط رشد در محفظه به صورت کنترل شده در مدت ۳۰ دقیقه تا دمای اتاق سرد شد. سپس با استفاده از یک هاون عقیق به طور اتوماتیک به پودر تبدیل شد و مش‌های ۱۵۰-۲۳، ۲۸۰-۱۵۰، ۲۸۰-۲۸۰، ۵۶۰-۵۶۰، ۸۰۰-۵۶۰ میکرون جداسازی شدند. آماده سازی دزیمترها با حرارت‌دهی استاندارد یعنی ۱۰ دقیقه در دمای ۲۴۰°C بر روی نمونه‌ها اعمال شد. پرتو دهی بتا به وسیله یک چشمه Sr/Y-۹۰ با آهنگ دز ۳/۴۷ Gy/min صورت گرفت. طیف‌های تابش توسط دوربین CCD در دمای ازت مایع با بازه اندازه‌گیری ۲۵۰ nm تا ۹۰۰ nm ثبت شدند.

نمونه‌های تولید شده LiF(Mg, Cu<sup>۲+</sup>) و LiF(P<sup>۲+</sup>) در این تحقیق دارای میزان آلییدگی Mg(MgF<sub>۲</sub>:۰.۰۲ Mol) و Cu(CuCl<sub>۲</sub>:۰.۰۵ Mol) هستند. برای انجام آزمایش مش بین ۱۵۰ تا ۲۸۰ میکرون انتخاب شد و مقادیر مورد اندازه‌گیری

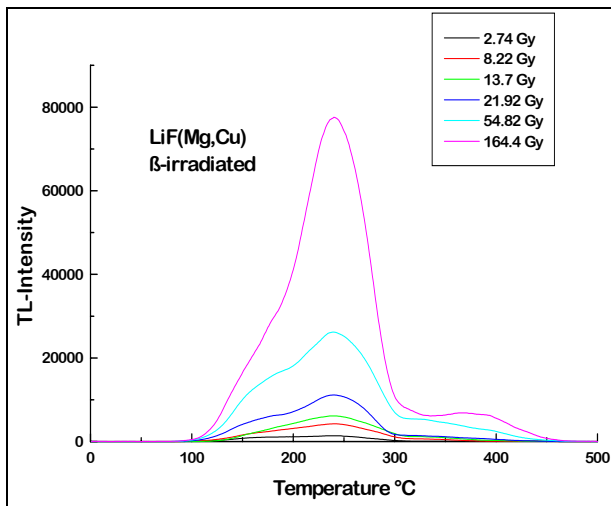
درون بلور پی برد [۴]. مک کیور و بیلسکی منحنی طیف LiF با آلییدگی Cu<sup>۲+</sup> با قله‌ای در ۴۲۵ نانومتر را اندازه گرفته و با قله طیف تابش LiF(Mg,Cu,P) در ۳۸۰ nm مقایسه کرده‌اند و نتیجه‌گیری کرده‌اند که Cu نقش مستقلی را در طیف تابش ندارد [۱ و ۵]. چن و اشتوبه با بررسی نقش Cu احتمال داده‌اند که تغییر ظرفیت Cu<sup>۲+</sup> به Cu<sup>۱+</sup> در اثر گرمادهی بیش از ۲۴۰°C باعث کاهش حساسیت دزیمتر می‌شود [۶]. پاتیل و موراهیل از نقش Cu<sup>۱+</sup> در سازوکار لومینسانس گزارش می‌دهند [۷]. تحقیق شینده و همکاران بر نقش P در اتصال Cu در شبکه تأکید کرده‌اند [۸]. ولی هنوز مشخص نیست که با ورود Mg به دستگاه LiF(Cu<sup>۲+</sup>) چه اتفاقی برای مراکز لومینسانس می‌افتد و نقش Cu در شکل‌گیری طیف تابش چیست. تنها یک تحقیق جامع برای طیف تابش سیستم LiF(Mg,Cu,P) مربوط به مک کیور موجود است که ماده LiF(Mg, Cu<sup>۲+</sup>) را در بر ندارد. در این تحقیق علاوه بر بررسی طیف دو نوع دزیمتر استاندارد TLD-۱۰۰ و TLD-۱۰۰H، منحنی‌های درخشندگی و طیف تابش و خصوصیات گرمالیانی دو نمونه LiF با ناخالصی‌های به ترتیب (Mg, Cu<sup>۲+</sup>) و (Cu<sup>۲+</sup>) بررسی شده است.

نمونه‌های مورد استفاده در این تحقیق با استفاده از LiF با درجه

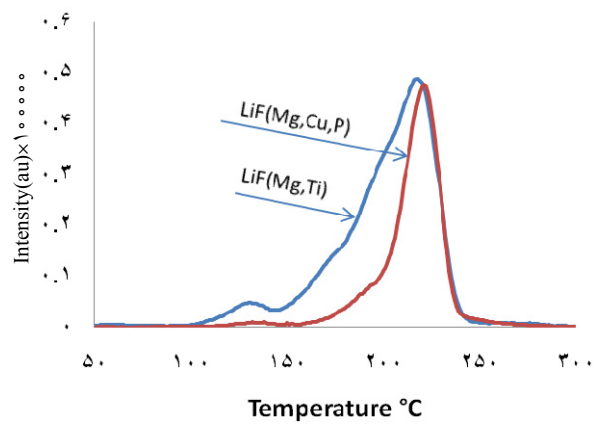
۱. supra pure



شکل ۲. طیف گرمالیانی دزیمر  $LiF(Mg,Ti)$  بعد از پرتودهی با دز ۵۴ Gy از چشمه بتا.



شکل ۴.  $LiF(Mg,Cu^{2+})$  پرتودهی با چشمه بتا با دزهای مختلف.



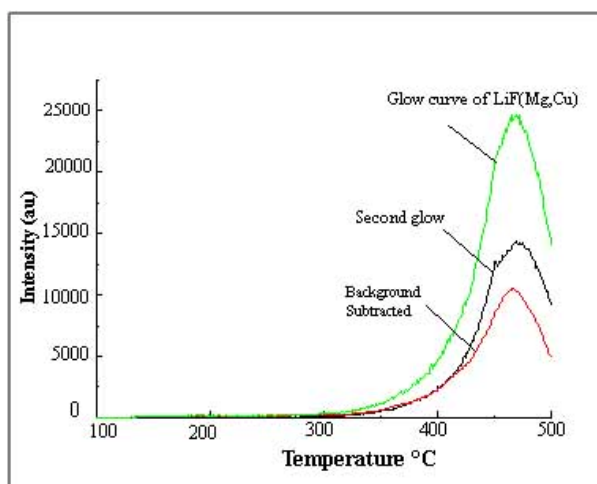
شکل ۳. منحنی گرمالیانی نمونه‌های استاندارد  $LiF(Mg,Cu,P)$  و  $LiF(Mg,Ti)$ .

آن به ترتیب در طول موج‌های ۴۲۰ nm و ۵۳۰ nm قرار دارند. که جهت مقایسه نسبت به شدت بهنجار شده‌اند.

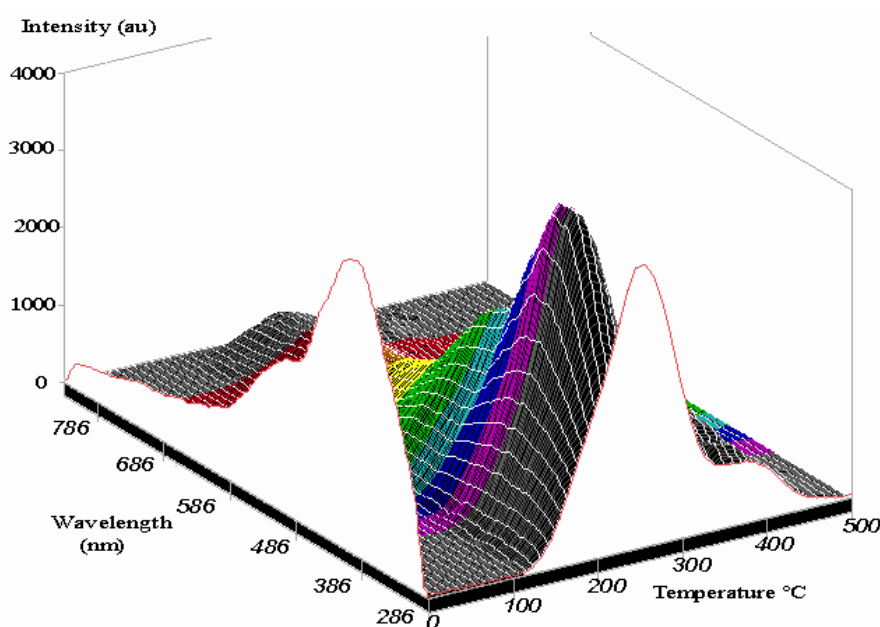
شکل ۴ منحنی درخشندگی حاصل از نمونه با ناخالصی‌های  $Mg,Cu^{2+}$  بعد از پرتودهی با دزهای مختلف را نشان می‌دهد. منحنی درخشندگی دارای یک قله اصلی در دمای حدود  $300^{\circ}C$  و یک قله با شدت بسیار کمتر در دمای بالای  $300^{\circ}C$  است. قله اصلی در مقایسه با  $LiF(Mg,Cu,P)$  و  $LiF(Mg,Ti)$  حدود  $300^{\circ}C$  به سمت دماهای بالاتر متمایل شده است. شدت گرمالیانی در این نوع ماده با دز جذبی بتا متناسب است.

در شکل ۵ منحنی گرمالیانی همین ماده یعنی  $LiF(Mg,Cu)$

نسبت به جرم بهنجار گردیدند. شکل‌های ۱ و ۲ طیف‌های استاندارد تابش دزیمرهای  $LiF(Mg,Cu,P)$  و  $LiF(Mg,Ti)$  با نام‌های تجاری به ترتیب  $GR200$  و  $TLD-100$  را نشان می‌دهند. مطابق شکل‌های ۱، ۲ و ۳، محل قله‌های شدت گرمالیانی در هر دو منحنی و ساختار کلی منحنی‌ها شبیه هستند. تفاوت اصلی بین آنها در شدت TL و بارز بودن قله‌های دمای بالا در نمونه با ناخالصی  $Mg,Ti$  دلیل بر نقش مراکز بازترکیب در دماهای بالا می‌باشد. این قله‌ها برای نمونه با ناخالصی  $Mg, Cu, P$  در منحنی گرمالیانی ظاهر نمی‌شوند. طیف تابش برای نمونه  $LiF(Mg,Cu,P)$  از ۳۲۰ nm تا ۴۹۰ nm ادامه دارد و برای نمونه  $LiF(Mg,Ti)$  از ۳۲۰ nm تا ۶۲۰ nm کشیده شده است و قله‌های



شکل ۵. LiF(Mg,Cu<sup>+</sup>) پرتودهی با چشمه آلفا همراه با قرائت دوم و تفاضل آنها.

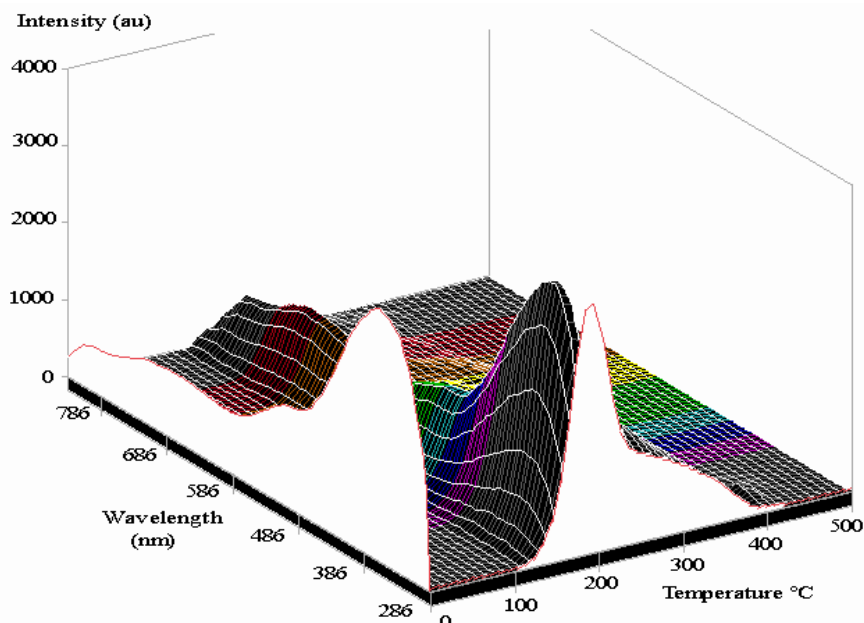


شکل ۶. طیف تابش نمونه LiF(Mg,Cu<sup>+</sup>) بعد از پرتودهی با دز ۷۰۰ Gy چشمه بتا.

در شکل ۶ طیف اندازه‌گیری شده  $\text{LiF}(\text{Mg,Cu}^{2+})$  بعد از پرتودهی با پرتو بتا دیده می‌شود. این طیف از بازه طول موج قابل اندازه‌گیری فراتر می‌رود و دارای قله اصلی طول موج تابش در ۴۰۵ nm و یک دنباله پهن است که از ۵۲۰ nm شروع می‌شود. این ماده چنانکه در شکل قبل دیده شد در پرتودهی با پرتوی آلفا پاسخ ناچیزی از خود نشان می‌دهد. این نمونه به نور مرئی حساسیت ندارد ولی به نور فرابنفش حساس است.

بعد از پرتودهی با پرتوی آلفا دیده می‌شود. منحنی ثانویه گرمالیانی این ماده<sup>۱</sup> نیز در شکل دیده می‌شود. منحنی ثانویه نشان می‌دهد، علیرغم ثبت منحنی گرمالیانی ماده در اثر گرم کردن آن تا دمای ۴۵۰°C، مراکز دام کاملاً تخلیه نشده‌اند. از طرف دیگر در ناحیه دمایی بین ۲۰۰°C تا ۴۰۰°C هیچگونه شدت گرمالیانی دیده نمی‌شود.

۱. second glow



شکل ۷. طیف تابش نمونه  $\text{LiF}(\text{Cu}^{2+})$  پرتودهی با  $700 \text{ Gy}$  گری چشمه بتا

نمونه  $\text{LiF}(\text{Mg,P})$  با حضور  $\text{Mg}$  محل قله منحنی گرمالیانی از  $180^\circ\text{C}$  به  $250^\circ\text{C}$  و طیف تابش نیز به طول موج‌های بالاتر منتقل می‌شود و حساسیت نور مرئی محو می‌شود [۱۰]. با این حال حساسیت نمونه  $\text{LiF}(\text{Mg,P})$  به طور قابل ملاحظه‌ای از  $\text{LiF}(\text{Mg,Cu})$  بیشتر است. حال با افزودن آلیاژ  $\text{Cu}$  به سیستم  $\text{LiF}(\text{Mg,P})$  می‌توان مشاهده نمود که در  $\text{LiF}(\text{Mg,Cu,P})$  تغییر ساختاری قابل ملاحظه‌ای در طیف تابش به وجود می‌آید و دنباله وسیع طول موج‌های بالای  $500 \text{ nm}$  حذف می‌گردند، ولی با افزودن  $\text{P}$  به سیستم  $\text{LiF}(\text{Mg,Cu})$  توجه به منحنی درخشندگی، تغییر ساختاری قابل ملاحظه‌ای در مراکز دام به وجود نمی‌آید، و مرکز بازترکیب مربوط به  $\text{P}$  و قله طول موج  $380 \text{ nm}$  همان طور که در نمونه  $\text{LiF}(\text{P})$  دیده شده است [۱۰]. غالب می‌گردد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که  $\text{Mg}$  در دزیمتر  $\text{LiF}(\text{Mg,Cu,P})$  در تشکیل مراکز دام نقش اصلی را دارد و  $\text{Cu}$  همراه با  $\text{P}$  در تشکیل مراکز بازترکیب نقش مشترکی دارند. بنابراین نقش کلیدی  $\text{Cu}$  در اینجا حذف دنباله طول موج‌های بالای  $500 \text{ nm}$  و حذف حساسیت به نور فرابنفش است که این دو اثر احتمالاً به طور مستقیم با هم در ارتباط هستند.

منحنی درخشندگی مربوط به  $\text{LiF}(\text{Cu}^{2+})$  در مقایسه با  $\text{LiF}(\text{Mg,Cu}^{2+})$  دارای یک قله در دمای  $180^\circ\text{C}$  است. مطابق شکل ۷، طیف تابش این ماده در طول موج‌های  $380$ ،  $528$  و  $700$  نانومتر قرار دارند. طول موج  $425 \text{ nm}$  که توسط مک کیور اندازه‌گیری شده است در این طیف مشاهده نمی‌شود [۱].

مسئله قابل توجه در مورد این ماده تخریب خاصیت گرمالیانی آن در دمای بالای  $240^\circ\text{C}$  است که از این نظر، رفتاری شبیه به  $\text{LiF}(\text{Mg,Cu,P})$  از خود نشان می‌دهد. یک خصوصیت دیگر  $\text{LiF}(\text{P})$  حساسیت آن نسبت به نور مرئی و فرابنفش است.  $\text{LiF}(\text{Mg,P})$  به فرابنفش حساس است ولی در  $\text{LiF}(\text{Mg,Cu,P})$  هیچ حساسیت نوری دیده نمی‌شود.

از مقایسه نتایج اندازه‌گیری طیف تابش  $\text{LiF}(\text{Cu})$ ،  $\text{LiF}(\text{Mg,Cu})$  و  $\text{LiF}(\text{Mg,Cu,P})$ ، با توجه به اینکه در نمونه  $\text{LiF}(\text{Cu})$ ،  $\text{Cu}$  نقش دوگانه مرکز دام و بازترکیب را دارد، می‌توان مشاهده نمود که با ورود  $\text{Mg}$  در نمونه  $\text{LiF}(\text{Mg,Cu})$  قله اصلی به دماهای بالاتر ( $250^\circ\text{C}$ ) کشیده شده است و هم طول موج قله اصلی تابش از  $380 \text{ nm}$  به  $405 \text{ nm}$  منتقل شده است. در عین حال حساسیت نور مرئی نیز با افزودن  $\text{Cu}$  از بین رفته است. در نمونه  $\text{LiF}(\text{P})$  نیز چنین رفتاری دیده می‌شود. در

می‌دهد، با حضور Cu در سیستم LiF(Mg,P) حساسیت به فرابنفش از بین می‌رود و در طیف تابش این ماده طول موج‌های بالای ۵۰۰ nm محو می‌شوند. بنابراین Cu در ساختار بلوری LiF(Mg,Cu,P) در تشکیل مراکز دام و مراکز بازترکیب نقش دوگانه‌ای دارد.

نتایج حاصل از تغییر ناخالصی‌ها در طیف‌های گرمالیانی - طول موج ماده LiF(Mg,Cu,P) نشان می‌دهد که نقش Mg در تشکیل مراکز دام غالب است و نقش  $Cu^{+2}$  بیشتر در تشکیل مراکز لومینسانس است. در جایی که Mg عمق مراکز دام را در LiF(Cu) با انتقال قله گرمالیانی از  $200^{\circ}C$  به  $250^{\circ}C$  افزایش

- Matter 7 (1995) 9925.
8. S S Shinde, B S Dhabekar, T K Gundu Rao, and B C Bhatt, *J Phys. D. Appl. Phys.* **34** (2001) 2683.
  9. Z Zha S Wang, W Shen, J Zhu, and G Cai, *Rad. Prot. Dos.* **47**, 1 (1993) 111.
  ۱۰. ف ترک‌زاده، ح عارف‌آذر، ن آقایی امیرخیزی، س س امینی، م فوگر و ن وانا، هجدهمین کنفرانس هسته‌ای ایران، یزد (۱۳۹۰).

1. S W S McKeever, *J. Phys. D: Appl. Phys.* **24** (1991) 988.
2. J McKeever, F D Walker, and S W S McKeever, *Nucl. Tracks Radiat. Meas.* **21** (1993) 179.
3. S Wang, *Rad. Prot. Dos.* **47** (1993) 219.
4. K Meijvogel and A J J Bos, *Radiat. Meas.* **24**, 3 (1995) 239.
5. P Bilski, M Budzanowski, and P Olko, *Rad. Prot. Dos.* **69**, 3 (1997) 187.
6. T C Chen and T G Stoebe, *Rad. Prot. Dos.* **2**, No. 2 (1998) 101.
7. R R Patil and S V Morahil, *J. Phys. of Condens.*