



# شناسایی الگوهای پیرایش متناوب پاسخ‌دهنده به تنش خشکی در ذرت

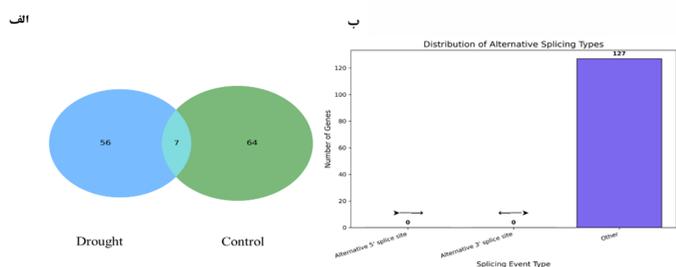
هنگامه طاهری<sup>۱\*</sup>

<sup>۱\*</sup> گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران

taheri@asnruk.ac.ir •

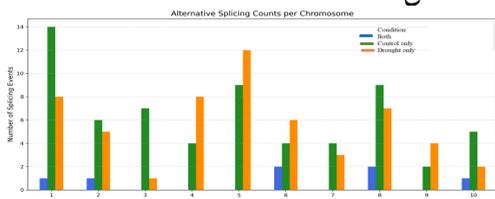
## نتایج و بحث

نتایج نشان داد که از مجموع ۱۲۷ واقعه پیرایش متناوب صورت گرفته، ۵۶ رویداد پیرایش متناوب منحصراً در تنش خشکی اتفاق افتاده است و در مقابل ۶۴ رویداد به صورت انحصاری متعلق به تیمار شاهد بوده است. ۷ رویداد نیز به صورت مشترک بین دو تیمار صورت گرفته است (شکل ۱ الف). همچنین انواع رویدادهای پیرایشی متناوب در خصوص ژن‌های پاسخ‌دهنده به تنش در شکل ۱ ب نشان داده شده است.



شکل ۱- توزیع وقایع پیرایش متناوب در تیمارهای شاهد و خشکی (الف) و انواع رویدادهای پیرایش متناوب در هر دو تیمار (ب).

همچنین توزیع وقایع پیرایش متناوب در طول ۱۰ کروموزوم ذرت نشان داد که تعداد وقایع پیرایشی مربوط به تنش خشکی در کروموزوم‌های ۴، ۵، ۶ و ۹ بیشتر از تیمار شاهد بوده است (شکل ۲).



شکل ۲- توزیع انواع وقایع پیرایش متناوب تحت تنش خشکی و تیمار شاهد در کروموزوم‌های گیاه ذرت

تلفیق پروفایل‌های پیرایشی متناوب با داده‌های بیان ژنی، ۶ ژن در گیاهچه‌های ذرت را شناسایی کرد که هم به صورت افتراقی بیان داشتند و هم به صورت متناوب پیرایش شده بودند. از بین ژن‌هایی با بیان متمایز و پیرایش متناوب، *Zm00001eb007810* یک فاکتور ADP-ریبوزیلاسیون (ARF) را کد می‌کند که نقش مهمی در انتقال درون سلولی در یوکاریوت‌ها ایفاء می‌کند و در ایجاد تحمل به تنش‌های زیستی و غیرزیستی در گیاهان نقش دارد (Li et al., 2021). یکی دیگر از ژن‌هایی که بیان افتراقی و پیرایش متناوب را در طول تنش خشکی نشان داد، *Zm00001eb369580* می‌باشد که آنزیم ۳-هیدروکسی بوتیریل-کوآ دهیدروژناز را کد می‌کند و مشخص شده است که نقش مهمی در انتقال و متابولیسم لیپیدها دارد و اسیدهای چرب را برای تولید انرژی سلولی تجزیه می‌کند.

## منابع

Mandadi, K. K., Petrillo, E., Dubrovina, A. S., and Kiselev, K. V. (2023). Regulation of alternative splicing in plant stress responses. *Frontiers in Plant Science*, 13: 1120961

Cheng, J., Wu, T., Zhou, Y., Al-Saud, N. B., Cheng, B., Admas, T., ... and Pan, R. (2025). The alternative splicing of *HvLHCA4. 2* enhances drought tolerance in barley by regulating ROS scavenging and stomatal closure. *International Journal of Biological Macromolecules*, 307: 142384.

Li, Y., Song, J., Zhu, G., Hou, Z., Wang, L., Wu, X., ... and Gao, C. (2021). Genome-wide identification and expression analysis of ADP-ribosylation factors associated with biotic and abiotic stress in wheat (*Triticum aestivum* L.). *PeerJ*, 9: e10963. doi: 10.7717/peerj.10963

## چکیده

تاب‌آوری گیاه نسبت به تنش خشکی برای بقا و عملکرد گیاه ضروری است. یکی از اجزای کلیدی این شبکه‌ها، تنظیم ژن در سطوح مختلف، از جمله پیرایش متناوب pre-mRNA است که با سنتز رونوشت‌های متفاوت از یک ژن، ظرفیت تنوع رونوشت‌ها و پروتئوم را افزایش می‌دهد. در این تحقیق، الگوی پیرایش متناوب داده‌های ترانسکریپتومی گیاهچه‌های ذرت در پاسخ به تنش خشکی مورد بررسی قرار گرفت. در مجموع ۱۲۷ ژن با الگوی پیرایشی متناوب شناسایی شد که از این تعداد، ۵۶ رویداد منحصراً در تنش خشکی اتفاق افتاده بود. همچنین ۶ ژن با بیان متمایز که الگوهای پیرایش متناوبی را نشان دادند، شناسایی شدند که در پاسخ به تنش خشکی نقش داشتند. این یافته‌ها اهمیت پیرایش متناوب را در تنظیم پاسخ‌های دفاعی روشن ساخت.

## مقدمه

گیاهان جهت سازگاری و بقا با تنش‌های محیطی مختلف، بیان ژن‌ها و رونوشت‌های پاسخ‌دهنده به تنش را تنظیم می‌کنند. پیرایش متناوب یک فرآیند تنظیمی است که در آن pre-mRNA می‌تواند به شکل‌های مختلف پیرایش شود. مطالعات اخیر در سطح ژنوم نشان داده است که حداقل ۴۰ تا ۶۰ درصد از ژن‌های حاوی اینترون، ایزوفرم‌های مختلفی تولید می‌کنند. این امر اهمیت پیرایش متناوب را در عملکرد، سازگاری و بقای گیاه برجسته می‌کند (Mandadi et al., 2023). در مطالعه‌ای، با بررسی الگوهای پیرایش متناوب در سطح ژنوم در ژنوتیپ‌های حساس به خشکی و متحمل جو مشخص شد یک واریانت پیرایش القاء شده توسط خشکی به نام *LHCA4.2b*، منحصراً در ژنوتیپ‌های متحمل شناسایی شد (Cheng et al., 2025). در مطالعه حاضر، الگوهای پیرایش متناوب در سطح ژنوم در لاین خالص B73 ذرت در طول تنش خشکی در مقایسه با گیاهان شاهد مورد بررسی قرار گرفت و ایزوفرم‌های ژنی با بیان متمایز در تیمار خشکی نسبت به گیاهان شاهد مشخص شدند.

## مواد و روش‌ها

در مرحله اول داده‌های RNA-Seq حاصل از تنش سه روزه خشکی و تیمار شاهد مربوط به لاین اینبرد B73 از پایگاه داده NCBI بازیابی شدند. خوانش‌های بازیابی شده وارد نرم‌افزار CLC Genomics Workbench 25.0 (کیازن) شدند. پس از هم‌ترازی با ژنوم مرجع ذرت، فایل‌های مپینگ آماده شدند. سپس نتایج این فایل‌ها با استفاده از افزونه Transcript discovery برای شناسایی ایزوفرم‌های جدید و شناخته شده به کار گرفته شدند. با طراحی اسکریپت‌های پایتون، مقایسه سیستماتیک بین دو فایل اکسل تیمار و شاهد حاوی رویدادهای پیرایش متناوب انجام شد. با طراحی اسکریپت‌های بعدی، توالی ایزوفرم‌های جدید در خصوص ژن‌هایی که وقایع پیرایش متناوب در آن‌ها اتفاق افتاده بود، مشخص شد و تعداد رویدادهای پیرایش متناوب بر اساس کروموزوم‌های موجود در تیمارها تعیین شد. در مرحله نهایی، آنالیز افتراقی با تغییرات بیانی  $|\text{Fold change}| \geq 2$  و  $\text{FDR} < 0.05$  انجام شد و ژن‌هایی با پیرایش متناوب که بیان متمایزی در تیمار تنش خشکی نسبت به شاهد داشتند، شناسایی شدند.