

# یک الگوریتم جدید مبتنی بر آتاماتای یادگیر توزیع شده توسعه یافته برای یادگیری پارامتری شبکه بیزی

محمد رضا ملاخلیلی میبیدی و محمد رضا میبیدی

تغییرات در محیط و پیدایش شواهد و نمونه‌های جدید، بهبودبخشیدن به مدل فعلی مورد نیاز است، کاربرد دارد.

در ساخت شبکه‌های بیزی با دو مسأله روبه‌رو هستیم: یادگیری ساختار شبکه بیزی (ساخت گراف) و یادگیری پارامترهای (جدول احتمال شرطی) متناظر با گره‌های گراف. یادگیری پارامترهای یک شبکه بیزی به دلیل سختی انتصاب مقادیر عددی تخمینی مناسب به پارامترها، با توسل به مفهوم بیزی احتمال، کاری پیچیده است؛ علاوه بر این که یادگیری پارامتری، بخشی از الگوریتم‌هایی را تشکیل می‌دهد که به مسأله یادگیری ساختاری شبکه بیزی می‌پردازند [۲]. در این مقاله، مسأله یادگیری ساختاری مورد بررسی نیست. به بیان دیگر فرض می‌کنیم یک شبکه بیزی با ساختار معین  $S$  که مقادیر پارامترهای آن توسط بردار  $\theta$  به شکل عددی داده شده، موجود است. هدف استفاده از مجموعه داده  $D$  برای ساخت یک شبکه بیزی با همان ساختار  $S$  و بردار پارامترهای  $\theta^{new}$  است.

در بخش دوم ضمن بررسی مختصر شبکه‌های بیزی، برخی از مبانی ریاضی مورد استفاده در سایر بخش‌های مقاله را بررسی خواهیم کرد، ضمن این که برخی از کارهای مشابهی که در این زمینه صورت گرفته را بررسی کرده و وجوه تمایز روش پیشنهادی با آنها را روشن خواهیم کرد. در بخش سوم، چارچوب جدید پیشنهادی را معرفی کرده و به بررسی تئوریک آن خواهیم پرداخت و بخش چهارم به بررسی عملی چارچوب پیشنهادی اختصاص یافته است.

## ۲- مبانی ریاضی

### ۱-۲ شبکه بیزی

شبکه‌های بیزی ابزاری کارآمد برای نمایش و استدلال تحت شرایط عدم قطعیت هستند. یک شبکه بیزی، نمایش فشرده‌ای از توزیع احتمال توأم بر روی مجموعه‌ای از متغیرهای تصادفی است. این مدل شامل یک گراف است که به صورت کیفی، روابط استقلال میان متغیرها را در خود ذخیره می‌کند و علاوه بر این شامل پارامترهایی است که به صورت کمی، به همراه ساختار ارائه شده توسط گراف مزبور، یک توزیع منحصر به فرد ایجاد می‌نمایند [۲].

**تعریف ۱:** یک شبکه بیزی  $B = (G, \Theta)$  نمایانگر یک توزیع احتمال توأم بر روی مجموعه متغیرهای تصادفی  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$  است که متشکل از دو بخش می‌باشد. بخش اول گراف جهت‌دار بدون دور  $G$  است که گره‌های آن، متناظر با متغیرهای تصادفی بوده و ساختار آن روابط استقلال مارکوف را در خود ذخیره می‌کند و بخش دوم آن مجموعه‌ای از پارامترهای  $\Theta$  است که توزیع احتمال متغیر تصادفی  $X_i$  به شرط معلوم بودن مقادیر والد‌های آن،  $p(x_i | pa(x_i))$ ، را تعیین می‌نماید.

**یادگیری پارامترها با داده‌های کامل:** یک مدل مولد، مانند شبکه‌های بیزی، مدلی است که به کمک ساختارها و پارامترهای درونی خود بتواند

چکیده: در این مقاله یک آتاماتای توزیع شده جدید به نام آتاماتای یادگیر توزیع شده توسعه یافته برای یادگیری توزیع توأم مجموعه‌ای از متغیرهای تصادفی معرفی خواهد شد. این شبکه از آتاماتاها در محیط‌هایی که پاسخ محیط به مجموعه‌ای از اقدامات انجام شده توسط آتاماتا، مستقل از یکدیگر نبوده و نوعی وابستگی شرطی میان این پاسخ‌ها حاکم باشد، کاربرد دارد. نشان داده شده که این آتاماتای جدید قادر است تخمینی از توزیع شرطی اقدام‌ها را فرا بگیرد. در ادامه چارچوبی مبتنی بر آتاماتای یادگیر توزیع شده جدید پیشنهادی، برای حل مسأله یادگیری برخط پارامترهای یک شبکه بیزی ارائه شده است. این چارچوب با داده‌ها و شواهد جدید منطبق شده و عملیات به روز رسانی پارامترها را انجام می‌دهد. با بررسی‌های ریاضی و آزمایش‌های عملی روی شبکه‌های نمونه، نشان داده‌ایم که این مدل جدید قادر است با تخمینی با دقت برابر با EM، یادگیری پارامترهای یک شبکه بیزی را انجام دهد. علاوه بر ویژگی افتراقی بودن و یادگیری برخط، این ساختار جدید با شرایطی که داده‌ها ناکامل باشند نیز سازگار است و به دلیل استفاده از روابط یادگیری خطی و مبتنی بر آتاماتای یادگیر، سربار محاسباتی کمی نیز دارد.

**کلید واژه:** آتاماتای یادگیر، شبکه بیزی، یادگیری پارامتری.

## ۱- مقدمه

مسأله یادگیری شبکه بیزی از روی داده‌ها، یکی از مسایل مورد توجه در حوزه‌های مرتبط با شبکه‌های بیزی می‌باشد که توجه زیادی را به خود معطوف کرده است. ساخت شبکه‌های بیزی بزرگ مرتبط با یک زمینه خاص به شکل دستی توسط یک متخصص در زمینه مورد نظر، فرایندی زمان‌بر و پیچیده است. علاوه بر این، مدل ساخته شده توسط یک متخصص الزاماً مناسب‌ترین مدل برای آن حوزه مشخص نبوده و استفاده از مدل‌های ایستا نیز به دلیل تضاد با پویایی جهان واقعی چندان مورد پسند نیست. مدل‌هایی که به صورت پویا با شرایط متغیر موجود خود را تطبیق دهند در کانون توجه است [۱]. بیشتر کارهایی که در زمینه یادگیری شبکه بیزی صورت گرفته، به بررسی یادگیری دسته‌ای پرداخته‌اند. در این نوع یادگیری، تعدادی نمونه وجود دارد و هدف، ساخت یک شبکه بیزی است که به بهترین نحو داده‌ها را مدل کند اما در سمت دیگر، یادگیری برخط قرار دارد. در این نوع یادگیری، هدف تطبیق دادن مدل فعلی (و احتمالاً ناقص) موجود با مجموعه‌ای از داده‌های نمونه است. این نوع یادگیری برای مواردی که به دلیل دقت پایین مدل اولیه و یا بروز

این مقاله در تاریخ ۲۵ فروردین ماه ۱۳۹۲ دریافت و در تاریخ ۱۶ آذر ماه ۱۳۹۲ بازنگری شد.

محمد رضا ملاخلیلی میبیدی، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد میبد، میبد، (email: mollakhali@maybodiau.ac.ir)

محمد رضا میبیدی، آزمایشگاه محاسبات نرم، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، (email: mmeybodi@aut.ac.ir)