دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر
گروه کنترل

پایان‌نامه
برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته‌ی مهندسی برق- گرایش کنترل

عنوان

سیستم ایمنی مصنوعی وکاربردهای آن

استاد راهنما
دکتر محمد تقی وکیل باغمیشه

استاد مشاور
دکتر ایرج حسن زاده

پژوهشگر
مهدی نظری

شهریور ۸۷

نام خانوادگی: نظری **نام:** مهدی

عنوان پایان نامه: سیستم ایمنی مصنوعی وکاربردهای آن

استاد راهنما : دکتر محمد تقی وکیل باغمیشه

استاد مشاور: دکتر ایرج حسن زاده

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته:** برق **گرایش:** کنترل **دانشگاه:** تبریز

دانشکده: مهندسی برق و کامپیوتر **تاریخ فارغ التحصیلی** : ۳۰ / ۶ / ۱۳۸۷ **تعداد صفحه:** ۸۷

کلید واژه‌ها: سیستم ایمنی مصنوعی – بهینه سازی – مدل سازی – توابع multi modal

چکیده:

سیستم ایمنی مصنوعی (AIS) ملهم از سیستم ایمنی بیولوژیک انسان، در سال ۱۹۸۶ بوسیله فارمر به عنوان یکی از روش‌های هوش مصنوعی مطرح شده و در زمینه‌های مختلف نظیر آشکارسازی خطا و ناهنجاری، بهینه سازی، مکانیزم حذف و تولید برای الگوریتم‌های مختلف، حل مسائل مقید، امنیت شبکه و کامپیوتر، برنامه‌نویسی آنتی‌ویروس‌ها، آنالیز و دسته بندی داده‌ها، استخراج داده‌ها، کنترل و رباتیک به کار گرفته شده است. این روش، با توجه به جدید بودن، هنوز در حال تکامل و توسعه می‌باشد.

در این پایان نامه نخست سیستم ایمنی بیولوژیک را بطور خلاصه مرور می‌کنیم سپس به بررسی الگوریتم‌های انتخاب منفی، کلونال‌جی، تئوری خطرناک، سلول B، شبکه‌های ایمنی (aiNet)، بهینه سازی بهبود یافته سانگ و بهینه‌سازی شبکه ایمنی (opt-aiNet) که ملهم از سیستم ایمنی بیولوژیک می‌باشند، می‌پردازیم. و نهایتا سه الگوریتم جدید سیستم ایمنی مصنوعی (الگوریتم کلونال پیوسته، الگوریتم بهینه سازی سیستم ایمنی و الگوریتم بهینه سازی تکاملی) را پیشنهاد و عملکرد آنها را بررسی می‌نماییم. این الگوریتم‌ها نظیر الگوریتم‌های کلونال‌جی، بهینه سازی بهبود یافته سانگ و بهینه‌سازی شبکه ایمنی برای حل مسائل Multi-Modal طراحی شده‌اند.

الگوریتم‌های پیشنهادی کلونال پیوسته، بهینه سازی سیستم ایمنی و بهینه سازی تکاملی بر روی ۵ مسئله Benchmark آزمایش شده و نتایج حاصله با نتایج حاصله از الگوریتم‌های کلونال‌جی، بهینه سازی بهبود یافته سانگ و بهینه‌سازی شبکه ایمنی از نقطه نظر سرعت و درصد موفقیت مقایسه شده‌اند.

مقایسه نتایج شبیه سازی نشان دهنده برتری مطلق الگوریتم‌های کلونال پیوسته، بهینه سازی سیستم ایمنی و بهینه سازی تکاملی نسبت به الگوریتم‌های کلونال‌جی، بهینه سازی بهبود یافته سانگ و بهینه‌سازی شبکه ایمنی از هر دو نظر سرعت و درصد موفقیت می‌باشد بطوری که در ۱۰۰ اجرا، الگوریتم کلونال پیوسته بطور متوسط ۹۵ نقطه بهینه محلی، الگوریتم بهینه سازی سیستم ایمنی و الگوریتم بهینه سازی تکاملی تقریبا تمامی نقاط بهینه محلی تابع Multi-Modal را یافته‌اند در حالی که الگوریتم کلونال‌جی ۳۰ نقطه بهینه محلی ، الگوریتم بهینه سازی بهبود یافته سانگ ۷۴ نقطه بهینه محلی و الگوریتم بهینه‌سازی شبکه ایمنی ۵۴ نقطه بهینه محلی پیدا کرده‌اند.

تقدیم به

پدرم،
که قلب پر دردش راهنمای راه من است

مادر مهربانم،
که نور وجودش گرمابخش قلب من است

و همسر عزیزم،
فرشته ای که با قلب پر مهرش عشق را در وجود من دمید.

تقدیر وتشکر

اکنون که به لطف وعنایت پروردگار متعال توانستم پژوهش حاضررابه انجام برسانم برخود فرض می‌دانم که که ازکلیه اساتیدی که درطی این دوره از محضرشان کسب فیض نمودم تشکر وقدردانی نمایم.

از استاد راهنمای ارجمند و بزرگوارم دکتر محمد تقی وکیل باغمیشه که درنهایت صبر و شکیبایی درتمام مراحل اجرا وتنظیم پایان نامه، این جانب را ارشاد وراهنمایی نمودند،تشکر می‌نمایم.

همچنین از اساتید محترم دکتر حسن زاده و دکتر بادامچی‌زاده که مشاوره و داوری این پایان نامه را بر عهده داشته‌اند نهایت تشکر وقدردانی را دارم.

فهرست مطالب

پیش گفتار **۱**

۱ بررسی منابع **۴**

۱-۱ سیستم ایمنی ۵

۱-۱-۱ لایه‌های دفاعی سیستم ایمنی ۵

۱-۱-۱-۱ سیستم ایمنی ذاتی ۵

۱-۱-۱-۲ سیستم ایمنی تطبیقی ۶

۱-۱-۱-۳ مقایسه لایه‌های دفاعی سیستم ایمنی ۸

۱-۱-۲ انواع مهاجمین ۸

۱-۱-۳ حافظه سیستم ایمنی ۹

۱-۱-۳-۱ حافظه پسیو ۱۰

۱-۱-۳-۲ حافظه اکتیو ۱۱

۱-۱-۴ مفاهیم مربوط به سیستم ایمنی ۱۱

۱-۱-۴-۱ آنتی‌ژن ۱۱

۱-۱-۴-۲ آنتی‌بادی ۱۲

۱-۱-۴-۳ انتخاب منفی ۱۲

۱-۱-۴-۴ انتخاب کلونال ۱۳

۱-۱-۴-۵ نظریه شبکه سیستم ایمنی ۱۴

۱-۱-۵ الگوریتم دفاعی سیستم ایمنی ۱۷

۱-۱-۵-۱ الگوریتم سیستم ایمنی ذاتی ۱۷

۱-۱-۵-۲ الگوریتم سیستم ایمنی تطبیقی ۱۸

۱-۲ الگوریتم‌های سیستم ایمنی مصنوعی ۲۰

۱-۲-۱ الگوریتم انتخاب منفی ۲۰

۱-۲-۲ الگوریتم تئوری خطر ۲۲

۱-۲-۳ الگوریتم انتخاب کلونال ۲۳

۱-۲-۳-۱ الگوریتم کلونال‌جی ۲۳

الف) الگوریتم تشخیص الگوی کاسترو ۲۴

ب) الگوریتم بهینه سازی کاسترو ۲۶

۱-۲-۳-۲ الگوریتم سلول B ۲۹

۱-۲-۴ الگوریتم شبکه‌های ایمنی ۳۰

۱-۲-۴-۱ الگوریتم aiNet ۳۰

۱-۲-۴-۲ الگوریتم opt-aiNet ۳۴

۱-۳ پیشینه کار ۳۶

۲ مبانی و روش‌ها ۴۴

۲-۱ الگوریتم کلونال پیوسته ۴۵

۲-۲ الگوریتم بهینه سازی سیستم ایمنی ۵۲

۲-۳ الگوریتم بهینه سازی تکاملی ۵۸

۳ نتایج و بحث ۶۲

۳-۱ مقادیر پارامترها و تنظیمات اولیه ۶۳

۳-۲ توابع آزمون بهینه سازی ۶۳

۳-۲-۱ تابع Multi-Modal در بازه [-۲,۲] ۶۶

۳-۲-۲ تابع Roots در بازه [-۲,۲] ۷۰

۳-۲-۳ توابع Shubert ۷۱

۳-۲-۴ توابع Shekel ۷۴

۳-۲-۴ توابع Hartman ۷۷

۳-۳ نتایج ۷۹

۳-۴ پیشنهادات ۸۲

منابع مورد استفاده ۸۳

فهرست جدول‌ها و نمودارها

جدول ۳-۱ مقادیر اولیه برای مسائل مطرح شده..... ۶۴
جدول ۳-۲ مقادیر اولیه برای تابع Multi-Modal..... ۶۴
جدول ۳-۳ مقادیر اولیه برای تابع Roots..... ۶۴
جدول ۳-۴ مقادیر اولیه برای توابع Shekel ۶۵
جدول ۳-۵ مقادیر اولیه برای توابع Shubert ۶۵
جدول ۳-۶ مقادیر اولیه برای توابع Hartman ۶۵
جدول ۳-۷ نتایج حاصل شده از اجرای الگوریتم‌های مختلف برای تابع Multi-Modal..... ۶۸
جدول ۳-۸ نتایج حاصل شده از اجرای الگوریتم‌های پیشنهادی برای تابع Multi-Modal..... ۶۹
جدول ۳-۹ نتایج حاصل شده از اجرای الگوریتم‌های پیشنهادی برای تابع Roots ۷۱
جدول ۳-۱۰ نتایج حاصل شده از اجرای الگوریتم‌های مختلف سیستم ایمنی برای تابع Roots..... ۷۱
جدول ۳-۱۱ نتایج حاصل شده از اجرای الگوریتم‌های پیشنهادی برای توابع Shubert..... ۷۳
جدول ۳-۱۲ نتایج حاصل شده از اجرای الگوریتم‌های پیشنهادی برای توابع Shekel5 و Shekel7 ..... ۷۶
جدول ۳-۱۳ نتایج حاصل شده از اجرای الگوریتم‌های پیشنهادی برای توابع Shekel10..... ۷۷
جدول ۳-۱۴ نتایج حاصل شده از اجرای الگوریتم‌های پیشنهادی برای توابع Hartman..... ۷۹

فهرست شکل‌ها

شکل شماره ۱-۱ مرحله انتخاب منفی ۱۳
شکل شماره ۱-۲ مرحله انتخاب کلونال..... ۱۴
شکل شماره ۱-۳ سلول B ، آنتی‌ژن، آنتی‌بادی، اپیتپ‌ها، پاراتپ‌ها و ایدیوتپ‌ها ۱۵
شکل شماره ۱-۴ آنتی‌بادی‌ها و تشکیل شبکه سیستم ایمنی. ۱۶
شکل شماره ۱-۵ فلوچارت الگوریتم سیستم ایمنی ذاتی..... ۱۷
شکل شماره ۱-۶ فلوچارت الگوریتم سیستم ایمنی تطبیقی..... ۱۹
شکل شماره ۱-۷ الگوریتم انتخاب منفی فارست. ۲۱
شکل شماره ۱-۸ دیاگرام مربوط به الگوریتم بهینه سازی بهبودیافته سانگ..... ۳۹
شکل شماره ۱-۹ سیستم کنترل کننده تطبیقی هواپیما بویینگ ۷۴۷..... ۴۰
شکل شماره ۳-۱ نمایش نقاط بهینه تابع Multi-Modal..... ۶۷
شکل شماره ۳-۲ نمایش نقاط بهینه تابع Roots..... ۷۰
شکل شماره ۳-۳ نمایش نقاط بهینه تابع Shubert1d..... ۷۲
شکل شماره ۳-۴ نمایش نقاط بهینه تابع Shubert2d..... ۷۲

پیش گفتار

بشر در راستای رسیدن به اهداف خود همواره سعی در الگوبرداری از طبیعت، کرده است (الگوبرداری از پرواز پرندگان در ساخت هواپیما، شناور ماندن اجسام در ساخت کشتی و غیره).بیشتر الگوریتم‌های هوش مصنوعی از روش‌های به کار رفته در طبیعت ملهم شده‌اند. از جمله این الگوریتم‌ها می‌توان به الگوریتم‌های ژنتیکی، پرندگان، مورچگان، قورباغه، سیستم ایمنی مصنوعی، زنبور عسل و ... اشاره نمود.

سیستم ایمنی یکی از پر قدرتمند سیستم‌های موجود در طبیعت می‌باشد که دارای عملکرد خوبی در جهت مقابله با عوامل بیگانه می‌باشد. این سیستم روزانه با هزاران نوع مهاجمین مختلف که سعی در ورود و زندگی در بدن ما دارند مبارزه می‌نماید، بطوری که حتی کوچکترین اختلال در مقابله با عوامل بیگانه، باعث بیماری و یا حتی در مواردی موجب مرگ موجود زنده می‌شود. این سیستم دارای قابلیت‌های خواصی می‌باشد که ازجمله این قابلیت‌ها می‌توان به داشتن حافظه، قدرت تشخیص سلول‌های خودی از سلول‌های بیگانه، قابلیت شناسایی، قابلیت آموزش، تنوع در تولید سلول‌ها و لایه لایه بودن این سیستم اشاره نمود.

محققان علوم مهندسی با توجه به قابلیت‌های خاص این سیستم، بتازگی سعی در الگوبرداری از این سیستم نموده‌اند که منجر به پیدایش الگوریتم‌های سیستم ایمنی مصنوعی شده است. این الگوریتم‌ها با توجه به نیازهای مسائل مطرح شده در زمینه‌های مختلف طراحی شده‌اند. از جمله کاربردهای این الگوریتم‌ها می‌توان به مواردی همچون آشکارسازی خطا و ناهنجاری، بهینه سازی، مکانیزم حذف و تولید برای الگوریتم‌های مختلف، حل مسائل مقید، امنیت شبکه و کامپیوتر،

برنامه‌نویسی آنتی‌ویروس‌ها، آنالیز و دسته بندی داده‌ها، استخراج داده‌ها، مسیریابی ربات‌ها، کنترل و رباتیک اشاره نمود.

همانطور که مشاهده می‌شود از این سیستم در حل مسائل مختلف، الگوهای متفاوتی برداشته شده است که مهمترین الگوریتم‌های مطرح شده در این زمینه عبارتند از: الگوریتم‌های انتخاب منفی، کلونال‌جی، تئوری خطرناک، سلول B، شبکه‌های ایمنی (aiNet)، بهینه سازی بهبود یافته سانگ و بهینه‌سازی شبکه ایمنی (opt-aiNet). با توجه به اهمیت بهینه سازی، چندین الگوریتم بهینه سازی از مدل سیستم ایمنی الگوبرداری شده‌اند که از جمله آنها می‌توان به الگوریتم‌های بهینه سازی کلونال‌جی کاسترو، سلول B، opt-aiNet و بهینه سازی بهبود یافته سانگ اشاره نمود.

در این پایان نامه با معرفی سیستم ایمنی به بیان الگوریتم‌های معروف الگوبرداری شده از این سیستم پرداخته و سپس الگوریتم‌های پیشنهادی خود را مطرح می‌نماییم. مقایسه نتایج شبیه سازی نشان دهنده برتری مطلق الگوریتم‌های کلونال پیوسته، بهینه سازی سیستم ایمنی و بهینه سازی تکاملی نسبت به الگوریتم‌های کلونال‌جی، بهینه سازی بهبود یافته سانگ و بهینه‌سازی شبکه ایمنی از هر دو نظر سرعت و درصد موفقیت می‌باشد بطوری که در ۱۰۰ اجرا، الگوریتم کلونال پیوسته بطور متوسط ۹۵ نقطه بهینه محلی، الگوریتم بهینه سازی سیستم ایمنی و الگوریتم بهینه سازی تکاملی تقریبا تمامی نقاط بهینه محلی تابع Multi-Modal را یافته‌اند در حالی که الگوریتم کلونال‌جی ۳۰ نقطه بهینه محلی ، الگوریتم بهینه سازی بهبود یافته سانگ ۷۴ نقطه بهینه محلی و الگوریتم بهینه‌سازی شبکه ایمنی ۵۴ نقطه بهینه محلی پیدا کرده‌اند.

در فصل اول این پژوهش ابتدا به معرفی سیستم ایمنی بیولوژیکی پرداخته و سپس به بیان الگوریتم‌های معروف مطرح شده در این زمینه از جمله الگوریتم‌های انتخاب منفی، کلونال‌جی،

تئوری خطرناک، سلول B، شبکه‌های ایمنی (aiNet)، بهینه سازی بهبود یافته سانگ و بهینه‌سازی شبکه ایمنی (opt-aiNet) پرداخته شده است. در فصل دوم به بیان الگوریتم‌های کلونال پیوسته، بهینه سازی سیستم ایمنی و بهینه سازی تکاملی پرداخته و در فصل سوم نتایج حاصله شده از این الگوریتم‌های کلونال پیوسته، بهینه سازی سیستم ایمنی و بهینه سازی تکاملی برای توابع آزمون Multi-Modal ، Roots ، Shekel ، Shubert و Hartman با نتایج شبیه‌سازی الگوریتم‌های کلونال‌جی، بهینه سازی بهبود یافته سانگ و بهینه‌سازی شبکه ایمنی مورد مقایسه قرار گرفته شده است.

فصل اول

بررسی منابع

۱-۱ سیستم ایمنی

تعریف کلی که از سیستم ایمنی[1] می‌توان ارائه کرد عبارت است از: سیستمی متشکل از شبکه‌هایی از بافت‌ها، سلول‌ها و اندام‌های مختلف که با همکاری هم، وظیفه نابودی مهاجمین مختلف بدن را برعهده دارند [۱].

تعریف دیگری نیز بصورت زیر ارائه شده است: سیستم ایمنی بیولوژیکی[2]، سیستمی مقاوم، مرکب و تطبیقی می‌باشد که وظیفه مقابله با مهاجمین خارجی را بر عهده دارد [۲].

در این بخش به معرفی سیستم ایمنی و نحوه عملکرد آن می‌پردازیم تا در بیان الگوریتم‌های سیستم ایمنی مصنوعی[3] از آنها استفاده کنیم.

۱-۱-۱ لایه‌های دفاعی سیستم ایمنی

سیستم ایمنی برای مقابله با مهاجمین از دو لایه اصلی تشکیل شده است که در این لایه‌های دفاعی، سیستم ایمنی با تشخیص مهاجمین به عنوان سلول‌های بیگانه، سعی در نابودی آنها می‌نماید. در این قسمت به معرفی این دو لایه می‌پردازیم و تفاوت‌های عملکرد این دو لایه را بیان می‌کنیم.

۱-۱-۱-۱ سیستم ایمنی ذاتی

سیستم ایمنی ذاتی[4] اولین لایه دفاعی بدن را تشکیل می‌دهد و اصلی ترین مانع در راه ورود مهاجمین مختلف به بدن می‌باشد. از مهمترین عناصر تشکیل دهنده این لایه می‌توان به اسیدهای زیر

1. Immune system
2. biological
3. Artificial immune system
4. Innate immune system

پوست، اسید معده، سلول‌های بیگانه خوار[1]، سلول‌های کلان خوار[2] و سلول‌های قاتل طبیعی[3] نام برد [۱ ، ۳ ، ۴].

پرکارترین عناصر این سیستم اسید معده و اسیدهای زیر پوست می‌باشند که موانع اصلی ورود مهاجمین به شمار می‌آیند. بیشتر مهاجمینی که سعی به ورود از راه پوست می‌نمایند توسط اسیدهای زیر پوست و مهاجمانی که سعی به ورود از راه گوارش می‌نمایند توسط اسید معده نابود می‌شوند. در صورت عبور مهاجمین از این دو مانع (در اثر بروز خراش در پوست و یا عوامل دیگر) عناصر دیگر این لایه (سلول‌های بیگانه خوار، سلول‌های قاتل طبیعی و دیگر اعضای این لایه دفاعی) برای نابودی این مهاجمین وارد عمل می‌شوند [۳]. با وجود این برخورد قدرتمندانه، امکان عبور تعدادی از این مهاجمین از این لایه دفاعی وجود دارد. این مهاجمین پس از رسیدن به مکان مناسب، به سرعت شروع به تکثیر می‌کنند بطوری که ممکن است باعث مرگ و نابودی بدن شوند. از ویژگی‌های این سیستم که در نوشتن الگوریتم‌های سیستم ایمنی مصنوعی از آنها استفاده شده است می‌توان به سادگی عملکرد، تشخیص سلول‌های خودی[4] از بیگانه[5] و سرعت عملکرد آن اشاره نمود.

۱-۱-۱-۲ سیستم ایمنی تطبیقی

سیستم ایمنی تطبیقی[6]، لایه دفاعی پیشرفته بدن را تشکیل می‌دهد. مهاجمین عبور کرده از لایه دفاعی ذاتی، با سد محکم دیگری به نام لایه دفاعی تطبیقی مواجه می‌شوند. این سیستم با تغییر استراتژی دفاعی خود سعی در آن دارد که در مقابل هر مهاجم، بهترین عکس العمل را اتخاذ نماید. از

1. Phagocyte cells
2. Macrophage cells
3. Natural killer cells
4. Self cells
5. Non-self cells
6. Adaptive immune system

امتیازات این سیستم می‌توان به دارا بودن حافظه برای بخاطر سپاری مهاجمین مختلف اشاره کرد. این حافظه به سیستم ایمنی این امکان را می‌دهد تا در برخورد بعدی خود با مهاجمین مشابه با سرعت بیشتری به نابودی آنها بپردازد [۱ ، ۵ ، ۶].

عضو اصلی تشکیل دهنده این سیستم لیمپوسیت[1]ها می‌باشند. در بدن انسان در حدود دو تریلون لیمپوسیت وجود دارد که در حدود بیست تا چهل درصد گلبول‌های سفید خون[2] را تشکیل می‌دهند (سلول‌های B و T از جمله اعضای این خانواده بشمار می‌آیند) [۶]. لیمپوسیت‌ها خود به دو دسته لیمپوسیت‌های بالغ[3] و نابالغ[4] تقسیم می‌شوند. لیمپوسیت‌های نابالغ، سلول‌های لیمپوسیت تولید شده در مغز استخوان[5] می‌باشند که هنوز وارد مراحل مربوط به بلوغ نشده‌اند این سلول‌ها پس از گذراندن مراحل بلوغ به لیمپوسیت‌های بالغ تبدیل می‌شوند.

لیمپوسیت‌های بالغ به سه صورت در بدن مشاهده می‌شوند.

۱. سلول‌های خام: این سلول‌ها توسط مغزاستخوان تولید و توسط غدد تیموس بالغ شده‌اند اما هنوز با آنتی‌ژن‌های مهاجمین آزاد منطبق با خود در خون، برخورد نکرده‌اند.
۲. سلول‌های مجری یا فعال: این سلول‌ها در برخورد با آنتی‌ژن‌های مهاجمین فعال شده و شروع به تکثیر کرده‌اند. طول عمر این سلول‌ها کوتاه می‌باشد و از چند روز بیشتر نمی‌شود.
۳. سلول‌های حافظه: این سلول‌ها (با طول عمر بالا) وظیفه نگهداری مشخصات مهاجمین و روش مقابله موثر با آنها را بر عهده دارند. این سلول‌ها دارای طول عمر نسبتاً بالایی می‌باشند و تا زمان مرگ موجود زنده به وظیفه خود عمل می‌نمایند.

1. Lymphocyte
2. White blood cells
3. Mature
4. Immature
5. Bone marrow

۱-۱-۱-۳ مقایسه لایه‌های دفاعی سیستم ایمنی

لایه‌های دفاعی بدن دارای شباهت‌های زیادی با یکدیگر می‌باشند. از جمله این شباهت‌ها می‌توان به دارا بودن هدف مشترک برای نابودی مهاجم و قدرت تشخیص عناصر خودی از بیگانه نام برد. با وجود شباهت‌های موجود، این سیستم‌ها در روش و ابزار برخورد با عناصر بیگانه دارای تفاوت‌هایی می‌باشند که در ادامه به بیان آنها می‌پردازیم [۱].

۱. سیستم ایمنی ذاتی در مقابل انواع مهاجمین از یک استراتژی ثابت استفاده می‌کند در حالی که سیستم ایمنی تطبیقی، در مقابل انواع مهاجمین، استراتژی‌های متفاوتی را اتخاذ می‌نماید.

۲. سیستم ایمنی ذاتی در برخورد با مهاجمین، به سرعت عکس العمل نشان می‌دهد در حالی که سیستم ایمنی تطبیقی قبل از پاسخ به مهاجمین، نیاز به شناسایی آنها دارد که این مراحل شناسایی باعث کاهش سرعت عکس العمل این سیستم نسبت به مهاجمین می‌شود.

۳. سیستم ایمنی ذاتی (بعلت اتخاذ پاسخ مشترک به مهاجمین مختلف) نیازی به ثبت مشخصات مهاجمین ندارد در حالی که سیستم ایمنی تطبیقی برای سرعت بخشیدن به پاسخ خود در برخورد با مهاجمین مشابه، اقدام به ثبت مشخصات آنها می‌نماید. بطور خلاصه سیستم ایمنی ذاتی دارای حافظه نمی‌باشد در حالی که سیستم ایمنی تطبیقی دارای حافظه است.

۱-۱-۲ انواع مهاجمین

بدن محیطی مناسب برای زندگی بسیاری از موجودات میکروسکوپی به شمار می‌آید، بر این اساس روزانه، هزاران نوع مهاجم مختلف، متشکل از انواع باکتری[1]ها ،ویروس[2]ها، انگل[3]ها و قارچ[4]ها

1. Bacteria
2. Virus
3. Parasite
4. Fungus

سعی در ورود و زندگی در این محیط مناسب می‌نمایند[۷]. برای رسیدن به این هدف، این مهاجمین باید از لایه‌های دفاعی سیستم ایمنی بدن عبور نمایند. بیشتر آنها در همان ابتدای مسیر خود توسط سیستم دفاعی ذاتی بدن نابود می‌شوند. مهاجمینی که بتوانند از این لایه عبور کنند برای مدتی امکان زندگی و تولید مثل خود را فراهم کرده‌اند.

سلول‌های سیستم ایمنی تطبیقی، پس از برخورد با این مهاجمین، آنها را به عنوان عوامل بیگانه تشخیص می‌دهند. سپس این سیستم سعی در تشخیص نوع مهاجمین و پیدا کردن روش مقابله با آنها می‌نماید. پس از پیدا کردن روش مقابله با این مهاجمین، اعضای این سیستم شروع به نابودی مهاجمین تکثیر شده می‌نمایند و در نهایت مشخصات مهاجم به همراه روش برخورد با آنها (برای سرعت بخشیدن در نابودی آنها در برخوردهای احتمالی بعدی) در سلول‌های حافظه ثبت می‌شوند [۵، ۱، ۳].

۱-۱-۳ حافظه سیستم ایمنی[1]

همانطور که بیان شد اعضای سیستم ایمنی تطبیقی پس از مواجهه با مهاجمین جدید، اقدام به شناسایی آنها و یافتن روشی برای مقابله با آنها می‌نمایند. شناسایی و یافتن روش مقابله با مهاجمین در چندین مرحله با روش سعی و خطا ادامه می‌یابد تا در نهایت لیمپوسیت‌ها موفق به پیدا کردن روش مناسبی برای مبارزه با این مهاجمین بشوند، سپس لیمپوسیت‌های موثر با تکثیرکردن خود اقدام به نابودی مهاجمین می‌نمایند.

1. Immunological memory

این روش مقابله دارای تاخیر زمانی نسبتاً زیادی در برخورد با مهاجمین می‌باشد که ممکن است در همین وقفه زمانی، مهاجمین به تعداد قابل ملاحظه‌ای تکثیر شده و باعث آسیب رساندن به تعداد زیادی از سلول‌های بدن شوند. برای کاهش این زمان و خسارت ناشی از آن در برخوردهای آینده با مهاجمین مشابه، سیستم ایمنی اطلاعات مربوط به مهاجم و نحوه پاسخ‌دهی به آنها را در حافظه خود ذخیره می‌نماید. با وجود این حافظه، سیستم ایمنی در برخورد بعدی با مهاجمین مشابه، با سرعت و قدرت بیشتری وارد عمل می‌شود [۱ ، ۲ ، ۶ ، ۸].

سیستم ایمنی دارای دو نوع حافظه می‌باشد که در ادامه به آنها اشاره می‌کنیم [۲].

۱-۱-۳-۱ حافظه پسیو[1]

در دوران نوزادی، سیستم ایمنی بدن تجربه لازم جهت برخورد با مهاجمین مختلف را دارا نمی‌باشد، ولی طبیعت برای رفع این ضعف، که ممکن است موجب نابودی نوزاد شود، راهکار مناسبی در نظر گرفته است. در این دوران نوع خاصی از سلول‌های B (IgG) از طریق شیر مادر به فرزند منتقل می‌شوند تا سلول‌های ایمنی تجربه لازم را جهت برخورد با مهاجمین کسب نماید. بعبارت دیگر حافظه شناسایی مهاجمین از مادر به فرزند منتقل می‌شود. این حافظه دارای طول عمر نسبتا کوتاهی- در حدود چند روز تا چند ماه- می‌باشد. پژوهشگران علوم پزشکی با پی بردن به وجود این نوع حافظه، از آن برای ساخت برخی داروها استفاده کرده‌اند.

1. Passive memory

۱-۱-۳-۲ حافظه اکتیو[1]

این نوع حافظه در برخورد مستقیم سیستم ایمنی با مهاجمین ایجاد می‌گردد. سیستم ایمنی در برخورد با مهاجم، مشخصه آنتی‌ژن مربوط به مهاجم و همینطور روش برخورد با آنرا در حافظه سیستم ایمنی ذخیره می‌نماید. طول عمر این حافظه بسیار طولانی (در حدود طول عمر موجود زنده) می‌باشد. پژوهشگران علوم پزشکی با تحریک سیستم ایمنی بوسیله ویروس‌های تضعیف شده از این حافظه برای ایمن کردن بدن در مقابل انواع خاص مهاجمین استفاده کرده‌اند.

۱-۱-۴ مفاهیم مربوط به سیستم ایمنی

در این بخش تعاریف مربوط به سلول‌ها و برخی مفاهیم مصطلح در مورد سیستم ایمنی را بیان می‌کنیم تا در قسمت‌های بعدی، از این مفاهیم برای بیان الگوریم‌های مختلف استفاده شود.

۱-۱-۴-۱ آنتی‌ژن[2]

به تکه‌های پروتئینی معلق در خون (جدا شده از سلول‌های بدن یا مهاجمین مختلف) و تکه‌های پروتئینی متصل به پوسته سلول‌های بدن یا مهاجمین، آنتی‌ژن گفته می‌شود. سیستم ایمنی با استفاده از آنتی‌ژن‌ها، سلول‌های بیگانه را از سلول‌های خودی تشخیص می‌دهد [۷].

1. Active memory
2. Antigen