

طرح شهید احمدی روشن

«ارزیابی الزامات و پیشنهاد سیاست‌‌های جدید برای کاهش مصرف و افزایش تاب‌آوری منابع آب کشور»

گزارش شماره .9.«مرور ادبیات »

**آناهیتا اسدی**

اسفندماه1399

**فهرست مطالب**

[مقدمه 1](#_Toc72168454)

[1 - پلاسما سرد 2](#_Toc72168455)

[1-1 معرفی فناوری پلاسما 2](#_Toc72168456)

[2-1 شیمی پلاسما: فرایند و دسته ها 2](#_Toc72168457)

[3 -1 تکامل تحقیق یا کاربرد پلاسما 3](#_Toc72168458)

[4 - 1عملکرد پلاسما 3](#_Toc72168459)

[5 -1 تاثیر پلاسما بر روی آنزیم های درون زا 4](#_Toc72168460)

[6 -1 اثر بر روی گرانول های نشاسته 4](#_Toc72168461)

[7 – 1 تاثیر بر جوانه زنی بذر 4](#_Toc72168462)

[8 -1 تصفیه فاضلاب 4](#_Toc72168463)

[9 -1 حوزه آینده فناوری پلاسما 4](#_Toc72168464)

[2- پلیمرهای سوپرجاذب در کشاورزی 4](#_Toc72168465)

[2 -2 معرفی 4](#_Toc72168466)

[3 -2 تکامل تحقیق یا کاربرد سوپر جاذب 4](#_Toc72168467)

[4 -2 تکنیک آماده سازی سوپرجاذب ها 4](#_Toc72168468)

[5 – 2 تاثیر عوامل موثر بر خواص سوپر جاذب ها 4](#_Toc72168469)

[6 – 2 کاربرد 4](#_Toc72168470)

[منابع 4](#_Toc72168477)

# مقدمه

امروزه با توجه به رشد سریع جمعیت جهان و اهمیت تولید غذای سالم، لزوم یافتن راه هایی جدید در صنایع غذایی و کشاورزی را آشکار کرده است. بسیاری از کشورها بر به کار گیری و گسترش کاربرد پلاسما سرد در صنایع غذایی، کشاورزی و صنایع وابسته به آن سرمایه گذاری کرده اند. افزایش روز افزون و چشمگیر مطالعات، طرح های پژوهشی و تجاری در سال های اخیر بر موضوعات متعدد مربوط به این حوزه دلیل روشنی بر این مدعاست. تاثیر پلاسما در غیرفعال سازی میکروارگانیسم ها، تغییر خصوصیات سطحی مواد، ایجاد محیط شیمیایی فعال در پلاسما و برهم کنش آن با سطح مواد از جمله قابلیت های پلاسماست که سبب اقبال دست اندرکاران و شرکت های فعال در این حوزه برای استفاده از پلاسما در صنایع غذایی، بسته بندی و کشاورزی شده است.(advancedplasmasolution.com; dcu.ie/ncpst/precision/plasmainfood/agri.shtml)

آب مهمترین عامل در تولید محصولات کشاورزی و تامین مواد غذایی است. از بین رفتن پوشش گیاهی بر اثر کمبود آب باعث بروز تغییرات آب و هوایی در کره زمین و گرم شدن هوا می گردد. در این شرایط هر اقدامی در راستای صرفه جویی در مصرف آب و جلوگیری از هدر رفتن و آلودگی آن اهمیت حیاتی دارد. از میزان کل آب مصرفی بیش از 90% آن در بخش کشاورزی مصرف می شود که 65% این مقدار به شیوه های غلط آبیاری هدر می رود که بخشی از آن کود های شیمیایی محلول را شسته و ضمن بردن آن ها به عمق باعث آلودگی مقادیر ناچیز آب های زیرزمینی می شود. از جمله راهکارهای مدیریتی که می توان در راستای استفاده بهینه از منابع آبی موجود مورد استفاده قرار بگیرد، کاربرد مواد جاذب الرطوبت از جمله پلیمرهای آبدوست می باشد که این مواد علاوه بر قابلیت جذب آب، اصلاح کننده خاک نیز هستند. (agronic.ir) در گزارش قبلی (بهمن ماه) به فناوری های موجود و جدید در حوزه کشت دیم پرداخته شد اکنون به مرور ادبیات دو فناوری پلاسما سرد و سوپرجاذب ها می پردازیم .

# 1 - پلاسما سرد

فناوری پلاسما سرد اکنون به عنوان یک فناوری نوین به صنایع غذایی گسترش یافته است. سال هاست که پردازش پلاسما سرد در حالی که کیفیت محصولات تازه را حفظ می کند برای غیرفعال سازی میکروبی مفید تلقی می شود با این حال این فرایند برای سیستم های غذایی مدل برای غیرفعال سازی میکروب ها یا آنزیم ویترو که در بافت های دست نخورده وجود دارد موثر نیست.

# 1-1 معرفی فناوری پلاسما

ماده روی زمین بیشتر در سه مرحله مشخص گاز، مایع و جامد وجود دارد اما وقتی جهان به عنوان حالت چهارم ماده در نظرگرفته شود که به وفور وجود دارد بنابراین از پلاسما با عنوان چهارمین حالت ماده در کنار سایر مواد یاد می شود. اصطلاح پلاسما برای اولین بار توسط ایروینگ لانگمویر[[1]](#footnote-1) در سال 1928 برای تعریف این حالت چهارم ماده استفاده شد که این حالت جزئی یا کاملا یونیزه شده گاز است و نوسات پلاسما را در گاز یونیزه شده [[2]](#footnote-2)کشف کرده است. تغییر فاز از جامد به مایع و بیشتر به گاز هنگامی اتفاق میفتد که انرژی ورودی را افزایش می یابد. به همین ترتیب افزایش انرژی ورودی فراتر از یه سطح مشخص در حالت گاز باعث یونیزاسیون مولکول ها می شود که حالت پلاسما را تولید می کند.

# 2-1 شیمی پلاسما: فرایند و دسته ها

در پردازش پلاسما، یونیزاسیون همیشه به عنوان اولین عنصر مهم در نظر گرفته می شود و به دنبال آن فاکتورهای دیگری مثل سرعت واکنش، ثابت سرعت، میانگین مسیر آزاد، توزیع انرژی الکترون است. فرایند شیمیایی پلاسما را می توان بر اساس واکنش ها به دو دسته تقسیم کرد: واکنش گاز همگن و واکنش فاز ناهمگن در صورت تماس با پلاسما با محیط جامد یا مایع. واکنش ناهمگن در صورت پلاسما بیشتر در سه زیرگروه طبقه بندی می شود. در زیر گروه اول، ماده از سطح به اصطلاح اچ یا فرسایش حذف می شود. در زیرگروه دوم، ماده بر روی سطح جامد به صورت فیلم نازکی مشاهده می شود که در طی پلیمریزاسیون پلاسما توسط فرایندی به نام رسوب بخار شیمیایی افزایش یافته در پلاسما مشاهده می شود و در گروه سوم هیچ ماده اضافه یا حذف نشده وجود ندارد اما سطح بستر از نظر فیزیکی و شیمیایی در هنگام قرارگرفتن در معرض پلاسما اصلاح شده است.

انواع مختلف مکانیسم های احتمالی که گاز مورد استفاده برای تولید پلاسما ممکن است در طول پردازش پلاسما بر روی بستر عمل کند. پلاسما می تواند با قراردادن گاز در یک میدان الکتریکی بین دو الکترود یا ثابت میدان جریان مستقیم یا دامنه متناوب معمولا میدان فرکانس بالا تولید شود. حالت پلاسما را می توان با استفاده از انرژی به اشکال مختلف میدان های حرارتی، الکتریکی یا مغناطیسی و فرکانس های رادیویی یا مایکروویو تقسیم کرد که باعث افزایش انرژی جنبشی الکترون ها می شود و در نتیجه تعداد برخورد در محصولات تشکیل دهنده پلاسما در گاز مانند یون ها، رایکال ها و .. می شود. از روش های مختلف مورد استفاده برای تولید پلاسما می توان به تخلیه تاج، تخلیه سد دی الکتریک، پلاسما فرکانس رادیویی اشاره کرد.

# 3 -1 تکامل تحقیق یا کاربرد پلاسما

بازگشت به تاریخ در دهه 1960 برای اولین بار خاصیت ضدعفونی کننده پلاسما معرفی شد و حق ثبت اختراع در سال 1968 ثبت شد. یک سری اختراع توسط اشمن[[3]](#footnote-3) و مناشی[[4]](#footnote-4) ثبت شده که گزارش دادند که تخلیه الکتریکی در گازهای خاص می تواند منجر به عقیم سازی کامل شود. بوچر[[5]](#footnote-5) در حق ثبت اختراع نقش تابش اشعه ماورابنفش در غیرفعال سازی میکروبی همراه UV پلاسما توضیح دادند. گزارش شد که فوتون می تواند فقط به یک عمق یک میکرومتر نفوذ کند. اولین کار با پلاسما از اکسیژن انجام شد که در سال 1989 پیشنهاد شد و فعالیت کشنده آن تعریف شد زیرا در ماده بیولوژیکی تداخل ایجاد می کند.

# 4 - 1عملکرد پلاسما

تاثیر پلاسما بر سلول های میکروبی: تاثیر درمان با پلاسما بر روی سلول های میکروبی عمدتا به دلیل یون های پلاسما و فعل و انفعالات سلول است. گونه های واکنشی موجود در پلاسما به طور گسترده ای با اثرات اکسیداتیو مستقیم بر سطح خارجی سلول های میکروبی ارتباط دارند. اثر پلاسما بسیار وابسته به وجود آب است، بیشترین تاثیر ارگانیسم مرطوب نسبت به کمترین در ارگانیسم خشک مشاهده شد. در حین استفاده

از پلاسما، میکروارگانیسم ها در معرض بمباران شدید رادیکال هایی [[6]](#footnote-6)قرار می گیرند که به احتمال زیاد ضایعات سطحی را تحریک می کنند و سلول زنده نمی توانند به سرعت کافی آن ها را ترمیم کند، این فرایند اچ [[7]](#footnote-7)نامیده می شود. اچ پلاسما بر اساس فعل و انفعال یون های انرژی زا و گونه های فعال شده با مولکول های بستر است.

# 5 -1 تاثیر پلاسما بر روی آنزیم های درون زا

پلاسما می تواند نه تنها برای میکروارگانیسم ها، بلکه برای ترکیبات بیولوژیکی ساده تر مانند آنزیم ها مورد استفاده قرار بگیرد. میوه ها و سبزیجات بیشتر به دلیل قهوه ای شدن آنزیمی که به عنوان ضرر ثانویه در حین کار پس از برداشت محصول و در هنگام ذخیره سازی محسوب می شود، خراب می شوند. برای جلوگیری از قهوه ای شدن آنزیمی استفاده می شود که از طریق واکنش های اکسیداسیون با واسطه رادیکال های آزاد و اکسیژن اتمی غیرفعال می شوند.

# 6 -1 اثر بر روی گرانول های نشاسته

نشاسته اصلاح شده آماده ست تا خواص عملکردی آن را تغییر دهد تا کارایی آن افزایش یابد و به عنوان افزودنی های غذایی در چندین آماده سازی مواد غذایی استفاده شود. برای تهیه نشاسته اصلاح شده، پلیمرهای طبیعی موجود به مواد شیمیایی به ویژه به اسیدهای قوی برای اچ سطح حساس هستند. بنابراین آن ها از مواد شیمیایی ضعیف برای تبدیل سطوح آب دوست استفاده می کنند. طبق گزارش پاشکولیوا [[8]](#footnote-8)که فناوری پلاسما سرد یک روش جایگزین برای اچ خشک برای اصلاح سطح و تمیز کردن سطح بیوپلیمرها ست.

# 7 – 1 تاثیر بر جوانه زنی بذر

جوانه زنی زود رس بذرها با تیمار بذر با پلاسما حاصل می شود. این امر به دلیل نفوذ ذرات فعال از طریق پوسته بذر و تاثیر مستقیم بر سلول های داخل آن است. به گفته فریدمن، برهم کنش سلول ها با پلاسما ممکن است منجر به شکستگی دیواره سلول و آسیب دی ان آ [[9]](#footnote-9)شده باشد. تاثیر بر فعالیت آنزیمی منجر به تجزیه پوسته مرحله خاموش بذر شود که منجر به افزایش سرعت جوانه زنی بذر ها می شود. موسسه فیزیک کاربردی آکادمی علوم روسیه [[10]](#footnote-10)اولین کسی بود که موفق به تولید پلاسما برای درمان بذر شد. طبق این گزارش طی درمان نتایج رضایت بخشی چون قدرت بهبود محصول، مقاومت به خشکی، سرما و فشار بود. از طریق آزمایشات مختلف اثبات شد که درمان با پلاسما نفوذپذیری بذر را بهبود می بخشد.

به طور کلی برنامه کاربردی پلاسما در کشاورزی به قبل برداشت و پس از برداشت طبقه بندی می شود. استفاده از این فناوری در فرایند پس از برداشت محصول مانند نگهداری و پردازش غذا مورد بحث قرار گرفته و به طور محدود در پیش از برداشت در موارد مختلف استفاده می شود. این فناوری برای استفاده از سطح مانند عقیم سازی بذر، بهبود جوانه زنی بذر، کاهش حمله پاتوژن در خاک مناسب بوده است.

# 8 -1 تصفیه فاضلاب

توسعه یک فرایند اکسیداسیون پیشرفته نوآورانه برای تصفیه فاضلاب یک چالش بزرگ است. از آن جا که اکسیداسیون کامل برای تصفیه پساب لازم است و انتقال آلاینده ها در روش هایی مانند تجزیه، اشعه ماورا و ازن کامل نیست اثرات شیمیایی پلاسما باعث ایجاد گونه های اکسیدکننده می شود.

# 9 -1 حوزه آینده فناوری پلاسما

از پلاسما سرد به طور کارآمدی برای عقیم سازی و اصلاح اهداف پلیمرهای بسته بندی استفاده می شود اما کاربرد فراوانی در فرآوری موادغذایی دارد. منطقه تحقیقاتی وجود دارد که در آن می توان کاربرد فناوری پلاسما را افزایش داد که توسط دانشمندان تحقیقات بین المللی تعیین می شود. میزان مصرف انرژی و پایداری بستگی به نوع تخلیه های مورد استفاده از پلاسما باید برای حداکثر کاررایی با هزینه کم کار بهینه شود.(Fan, Liu, Ma, & Xiang, 2020; Thirumdas et al., 2018) (Muhammad et al., 2018)

# 2- پلیمرهای سوپرجاذب در کشاورزی (Behera & Mahanwar, 2020)

1 -2 مقدمه

پلیمرها یک کلاس از مواد پلیمری هستند که توانایی جذب و حفظ مقدار زیادی از محلول آب را دارند.

آن ها از شبکه سه بعدی پلیمری تشکیل شده اند که در آب حل نمیشوند. پلیمر سوپرجاذب مصنوعی جایگزین آن هایی هستند که به علت فرایند جذب بالا، در دسترس بودن انواع وسیعی از مواد خام و دوام طولانی تر است. با توجه به روابط مناسب هیدروفیلی، غیر سمی، زیست تخریب پذیر و زیست سازگار آن ها، محصولات مطلوب تر برای کاربردهای مختلف مانند تحویل دارو، کشاورزی، زیستی سازی، بیوسنسور، صنایع غذایی و مهندسی بافت استفاده استفاده می شود.

# 2 -2 معرفی

این پلیمرها اساسا با ساختار سه بعدی مرتبط با پیوند هستند، زنجیره های پلیمری که با یکدیگر متصل می شوند. این پلیمرها می توانند طبیعی یا مصنوعی باشند. برخی از پلیمرهای طبیعی که برای پراگم استفاده می شود مانند کیتوزان، آلژینات، کلاژن و .. و اسید اکریلیک، پلی اتلین گلیکول هم مثال هایی از پلیمرهای مصنوعی ست. این پلیمرها درجه انعطاف پذیری مشابه با یک بافت به دلیل محتوای آب بزرگ خود نشان می دهد. هیدروژل های مصنوعی جایگزی طبیعی هستند زیرا دوام بالا، قدرت ژل بالا و ظرفیت جذب بالا دارند.

آن ها توسط پلیمراسیون معکوس و با استفاده از تکنیک تلی تکنی تهیه می شوند.

# 3 -2 تکامل تحقیق یا کاربرد سوپر جاذب

پس زمینه تاریخی سنتز پلیمر سوپرجاذب آب در سال 1938 توسط پلیمراسیون اسید اکریلیک با دیون سیبن در محیط آبی توسط کرن[[11]](#footnote-11) بود. در اوخر دهه 1950 نسل اول هیدروژل ها تهیه شد که بر اساس آن هیدروکسی آلکیل متاکریلات [[12]](#footnote-12)مرتبط بود و برای توسعه لنزهای تماسی استفاده شد. در دهه 1970، اولین پلیمر سوپرجاذب تجاری در آزمایشگاه تحقیقاتی منطقه ای وزارت کشاورزی آمریکا توسعه یافت که توسط

هیدرولیک تولید شد. در سال 1978 در فرانسه و آلمان از این پلیمرها در دستمال مرطوب زنانه استفاده شد و به تدریج توسط ایالت آمریکا و اروپا و آسیا مورد توجه قرار گرفت.

# 4 -2 تکنیک آماده سازی سوپرجاذب ها

. پلیمراسیون فله

این تکنیک به صورت شیمیایی توسط تابش یا کاتالیزورهای UV آغاز می شود. آغازگر باید انتخاب شود و به نوع مونومر و حلال ها مورد استفاده قرار می گیرد. پلیمراسیون ممکن است در صورت های مختلف فیلم، میله ها و ذرات و امولسیون ها تولید می شود. این تکنیک ساده ترین روش است و مزیت این روش یک مدل مولکولی بالا تولید می شود.

. پلیمراسیون حل و فصل

پرایمر کوپلیمر[[13]](#footnote-13) یا محلول سازی رادیکال های آزاد اسید آکریلیک و نمک آن با آکریل آمید و عامل اتصال متقابل بیشتر در تولید سوربن های سوپرجاذب آب استفاده می شود. این تکنیک با حرارتی شروع می شود. اشعه ماورا بنفش یک راهک بازسازی و تکنیک خنثی نقش مهمی در اینجا دارد. خنثی سازی با استفاده از محلول آبی هیدروکسید سدیم یا پتاسیم انجام می شود. مزیت این روش نسبت به فله حضور حلال است که کمک می کند انتقال حرارت مناسب را ترویج کند.

. پلیمراسیون تعلیق معکوس

در این تکنیک از کروم با ذرات یک میکرون استفاده می شود و مزیت آن یک پودر یا تولید مستقیم دانه است. این یک فرایند آب در آب است و دارای دو مرحله آبی شامل مونومر، متقابل و آغازگر و آلی شامل حلال و

یک تثبیت کننده. شایع ترین روش مصنوعی کوپلیمیزاسیون شدن اسکریپتیک آزادکننده رادیکال های آزاد است که یک مونومر غیر هیدروفیلی با مقدار کمی از عامل متقابل اتصال است.

# 5 – 2 تاثیر عوامل موثر بر خواص سوپر جاذب ها

سوپرجاذب ها دارای خواص بیشماری چون کاهش دفعات آبیاری، بهینه سازی مصرف آب، اصلاح خاک و جلوگیری از فرسایش خاک و .... است. اثرگذاری این محصول تحت تاثیر عوامل مختلفی است. از جمله آن به موارد زیر اشاره می شود:

نوع و غلظت مونومر

آغازگر عامل متقابل

درجه خنثی سازی

دما پلیمراسیون

نوع و غلظت سورفاکتانت

نوع همزن

نوع اضافه کردن پودوژن

# 6 – 2 کاربرد

بیوسنسور: برای شناسایی آنالیزهای شیمیایی و بیولوژیکی استفاده می شود. ویژگی دیگر هیدروژل ها مانند ویسکوالاستی سیتی [[14]](#footnote-14)قابل کنترل، سازگاری زیستی، خواص بی بو و پاسخگویی به محرک خارجی ست. سازگاری با پلی ونیل الکل[[15]](#footnote-15)، پلی اتیلن گلیکول [[16]](#footnote-16)و اکریل [[17]](#footnote-17)های پاسخگو محرک در بیوسنسورها مورد استفاده قرار می گیرد. آن ها در بیوسنسورهای نوری، فوتونی و مبدل های الکتریکی و مغناطیسی استفاده می شود.

# لوازم آرایش

سوپرجاذب ها در قالب فرم زیبایی برای مراقبت از پوست استفاده می شود. پایه هیدروفیلی آن ها یک ماتریس را به پوست ایجاد می کند که در ارائه محصولات موجود در داخل پوست می پردازد.

# درمان آب

یکی از ضرورت ترین مواد برای انسان و دیگر موجودات است. تهدیدی جدی برای محیط زیست وجود دارد زیرا آلودگی آب به تدریج افزایش می یابد. هیدروژل ها برای درمان زباله آب در اشکال مختلف دانه، فیلم و پرایت های نانو ساختار استفاده می شود. دانه های هیدروژل برای حذف یون سنگین مس و سرب استفاده می شود. این ژل همچنین زباله های رادیواکتیو را حذف می کند.

# کشاورزی

سوپرجاذب ها به عنوان آبیاری متریالس[[18]](#footnote-18) و تهویه مطبوع خاک در کشاورزی به دلیل خواص احتمالی آب بالا استفاده می شود. سوپرجاذب ها باعث تخلخل در خاک خاکستری می شوند زیرا ذرات پلیمری در طول دوره رطوبت گسترش می یابد.اثر نامطلوب مناطق کمبود آبیاری، تعدیل شرایط تنش خشکی بر رشد گیاهان، مدیریت آفات در مناطق آبزی با کنترل انتشار آفات از موارد مورد استفاده از سوپرجاذب در کشاورزی است.

# برف مصنوعی

سوپرجاذب در آب متورم شده و بیش از یک سطح گسترش یافته و با یک سیستم خنک کننده برای شکل برف مصنوعی یخ زده استفاده می شود.

# سیستم تحویل دارویی

سازگاری با قابلیت زیستی، گرایش پذیری بیود و هیدروفیلت خواص هیدروژل[[19]](#footnote-19) هاست که آن ها را در انتخاب مناسب برای برنامه تحویل دارویی قرار می دهد. ساختار بسیار متخلخل که می تواند با تغییر تراکم متقابل اتصال ماتریس ژل[[20]](#footnote-20) استفاده شود. این ویژگی باعث می شود تا ترکیب دارو در ماتریس ژل و تحویل همان در یک کنترل شود.

# منابع

advancedplasmasolution.com.

agronic.ir. سوپرجاذب چیست.

Behera, S., & Mahanwar, P. A. (2020). Superabsorbent polymers in agriculture and other applications: a review. *Polymer-Plastics Technology and Materials, 59*(4), 341-356.

dcu.ie/ncpst/precision/plasmainfood/agri.shtml.

Fan, L., Liu, X., Ma, Y., & Xiang, Q. (2020). Effects of plasma-activated water treatment on seed germination and growth of mung bean sprouts. *Journal of Taibah University for Science, 14*(1), 823-830.

Muhammad, A. I., Liao, X., Cullen, P. J., Liu, D., Xiang, Q., Wang, J., . . . Ding, T. (2018). Effects of nonthermal plasma technology on functional food components. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 17*(5), 1379-1394.

Thirumdas, R., Kothakota, A., Annapure, U., Siliveru, K., Blundell, R., Gatt, R., & Valdramidis, V. P. (2018). Plasma activated water (PAW): Chemistry, physico-chemical properties, applications in food and agriculture. *Trends in food science & technology, 77*, 21-31.

1. Irving langmuir [↑](#footnote-ref-1)
2. Ionized gas [↑](#footnote-ref-2)
3. Ashman [↑](#footnote-ref-3)
4. Manashi [↑](#footnote-ref-4)
5. Boucher [↑](#footnote-ref-5)
6. Radical [↑](#footnote-ref-6)
7. Etching process [↑](#footnote-ref-7)
8. Pashkuliva [↑](#footnote-ref-8)
9. DNA [↑](#footnote-ref-9)
10. Institute of Applied physics of the Russion Academy of sciences [↑](#footnote-ref-10)
11. W.Kern [↑](#footnote-ref-11)
12. Hydroxy alkyl methacrylate [↑](#footnote-ref-12)
13. Copolymer-ization [↑](#footnote-ref-13)
14. Viscoelasticiti [↑](#footnote-ref-14)
15. Polyvinyl alcohol [↑](#footnote-ref-15)
16. Polyethylene glycol [↑](#footnote-ref-16)
17. Acrylate [↑](#footnote-ref-17)
18. Watersaveing materials [↑](#footnote-ref-18)
19. Hydrogel [↑](#footnote-ref-19)
20. Gel matrix [↑](#footnote-ref-20)