۱-۱ مقدمه

بر اساس پیش بینی های انجام شده جمعیت جهان از ۵/۳ میلیارد نفر در سال ۱۹۹۰ به ۷/۵ میلیارد نفر در سال ۲۰۱۳ و به ۱۰ میلیارد نفر در سال ۲۰۳۰ خواهد رسید و این در حالی است که آهنگ رشد تولیدات کشاورزی طی ۱۵ سال آینده نسبت به ۱۵ سال گذشته (۱/۸ درصد در مقایسه با ۲/۳ درصد در سال) کمتر خواهد بود. یکی از مشکلات مهمی که امروزه ساکنین کره زمین با آن مواجه اند مسأله آلودگی محیط زیست است. در این میان سهم بخش کشاورزی قابل توجه می باشد. مهم ترین منابع آلودگی در بخش کشاورزی استفاده از سموم و آفت کش ها و کودهای شیمیایی به ویژه کودهای شیمیایی ازتی می باشد. موضوع قابل تأمل آنست که استفاده از این قبیل مواد شیمیایی علاوه بر هزینه بالا، خسارات عمده ای را به محیط زیست وارد می کنند که نتیجه آن مسمومیت انسان، دام و آبزیان است. مجموعه این مسائل ضرورت تجدید نظر در روش های افزایش تولید را بیش از پیش روشن می سازد (خسروی و همکاران، ۱۳۷۶).

حفظ مقدار مطلوب ماده آلی خاک یکی از اساسی ترین اصول کشاورزی پایدار است. بنابراین مواد آلی باید مرتباً به خاک اضافه شوند. این نیاز در مناطق خشک و نیمه خشک با توجه به مقدار کم مواد آلی و محدود بودن منابع کودهای دامی محسوس تر است. موادی همچون بقایای گیاهی، فضولات دامی، زباله و فاضلاب از منابع قابل دسترس مواد آلی در اغلب این مناطق هستند که از دورانهای گذشته تا به حال از آنها استفاده شده است (افیونی ۱۳۷۷). استفاده از مواد آلی به علت تأثیرات مفیدی که بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و حاصلخیزی خاک دارند، یکی از ارکان مهم باروری خاک به حساب می آید. این در حالی است که بیش از ۶۰ درصد خاک های ایران کمتر از یک درصد ماده آلی دارند. یک راه حل برای افزایش مقدار مواد آلی خاک های زراعی کشور، استفاده از کودهای آلی، از قبیل کود حیوانی، کود سبز و ورمی کمپوست می باشد (آجودان زاده و همکاران، ۱۳۷۸).

با توجه به مشکلات ناشی از محدودیت منابع آب و خاک در ایران، امکان توسعه سطح زیر کشت برای افزایش تولیدات کشاورزی امکان پذیر نبوده و تنها راه عملی برای خودکفایی در محصولات کشاورزی و تهیه غذای کافی برای جمعیت در حال رشد کشور، افزایش تولید در واحد سطح می باشد. یکی از راههای اساسی حصول به هدف مذکور، افزایش سطح باروری اراضی زیر

کشت و استفاده کامل از پتانسیل آن برای تولید بالاترین عملکرد است. مواد آلی علاوه بر اثرات سازنده ای که بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و حاصلخیزی خاک دارند بعنوان یکی از ارکان باروری خاک شناخته شده و بدلیل حاصلخیزی کم در زمینهای فاقد مواد آلی کافی یا با مواد آلی خیلی کم عملکرد آنها مناسب نخواهد بود (ملکوتی، ۱۳۷۵). مطالعات مختلف نشان داده است که می توان با مصرف توأم ورمی کمپوست و کودهای شیمیایی، مقدار مصرف کودهای شیمیایی را کاهش داده و آلودگی محیط زیست را به حداقل رساند (سانساما و پیلایی، ۲۰۰۰).

کودهای دامی و کود سبز به عنوان منابع سنتی تهیه و تولید مواد آلی در مناطق خشک و نیمه خشک بوده و نمی توانند نیاز بخش کشاورزی به کودهای آلی را تأمین کنند. در این شرایط کمپوست تولید شده از زباله های شهری که عبارت از تبدیل زیستی ضایعات شهری به هوموس کلوئیدی بی شکل، به رنگ قهوه ای تیره تا سیاه تحت شرایط مناسب از نظر درجه حرارت، رطوبت و تهویه می باشد، می تواند تا حدودی کمبود مواد آلی در ایران را مرتفع نماید. به دلیل استفاده بی رویه از کودهای شیمیایی، مواد آلی زمینهای کشاورزی در ایران کاهش یافته و بافت خاک به بافتی سخت و نامطلوب تبدیل شده است. در چنین شرایطی کود کمپوست که حاوی مواد آلی کافی است، می تواند در خاکهایی که بافت و ساختمان آنها آسیب دیده، مورد استفاده قرار گرفته و آنها را پوک و ترد نموده و مجدداً زنده و فعال سازد. کمپوست با داشتن حجم زیاد، دارای جرم مخصوص کمی می باشد و استفاده از آن در خاکها باعث پایین آمدن وزن مخصوص ظاهری خاک و سبک شدن آن می شود. استفاده از کمپوست در خاکهای شنی باعث نگهداری و ذخیره رطوبت خاک شده و از تشنگی زودرس گیاه جلوگیری می کند. کمپوست بافت زمینهای سنگین را تغییر داده و موجب تسهیل نفوذ ریشه می شود. ویژگی هوموسی کمپوست سبب می شود که بافت مناسبی در خاک ایجاد شده و چون مواد آلی خاک با برداشت مکرر محصول کم می شود افزایش کمپوست می تواند فقدان این مواد را در ساختار خاک جبران کرده و خاک کشاورزی را از بافت مناسبی برخوردار نماید (ملکوتی، ۱۳۷۵).

استفاده از اصلاح کننده های آلی، از قبیل کمپوست های ترموفیلیک سنتی، به عنوان یک وسیلهٔ موثر در بهبود ساختمان خاک، فراهم کننده حاصلخیزی خاک، افزایش دهنده تنوع و جمعیت میکروبی، فعالیت میکروبی، اصلاح کننده ظرفیت نگهداری رطوبت خاکها و افزایش دهنده عملکرد محصول تشخیص داده شده است (آرانکون و همکاران، ۲۰۰۴).

مصرف کودهای کمپوست بر روی تعداد زیادی از محصولات کشاورزی موفقیت آمیز بوده است که در وهله نخست ارزش غذایی کود کمپوست مورد نظر می باشد، در حالیکه با عرضه این کود علاوه بر جنبه های غذائی، ارتقاء شرایط فیزیکی و میکروبی خاک نیز تأمین می گردد (رابین و همکاران، ۲۰۰۱).

۱-۲ اهداف

۱- بررسی اثر مصرف دوره های مختلف کودهای آلی (کمپوست زباله شهری، ورمی کمپوست و کمپوست لجن فاضلاب) بر برخی خصوصیات فیزیکی خاک و میزان عناصر کم مصرف در اندام های مختلف گیاهی (کاهو و تربچه)

۲- بررسی تأثیر کاربرد انواع کودهای آلی (کمپوست زباله شهری ، ورمی کمپوست و کمپوست لجن فاضلاب) بصورت جداگانه و تلفیقی با کود شیمیایی بر میزان جذب عناصر غذائی کم مصرف توسط کاهو و تربچه در خاک تحت کشت

۲-۱ تعریف مسأله

مسأله دفع زباله های انسانی از زمان تشکیل جوامع اولیه مطرح بود. در آن زمان چون تراکم جمعیت نسبتاً پایین بود مسأله دفع زباله ها به وسیله زمینهای مجاور یا آبراهه ها حل می شد. با رشد جمعیت، این شیوه جوابگو نبود. برای هزاران سال، جامعه چینی ها فاضلاب، "night soil " را به کشتزارهای مجاور انتقال می دانند. این شیوه با ایجاد چرخه عناصر غذایی نقش مهمی در حفظ حاصلخیزی خاک داشت. بدینصورت که، عناصر غذایی در محصولات، از کشتزارها به شهرها صادر و عناصر غذایی در زباله های شهری به زمین های کشاورزی برگشت داده می شدند. این یک سیستم ایده آل بود زیرا دو مسأله حفظ حاصلخیزی خاک و کنترل منبع آلودگی با هم حل شده بود (سنگ چین لون، ۲۰۰۷). آب فاضلاب به علت دارا بودن مقادیر بالایی از عناصر غذایی، با کاهش نیاز به کودهای شیمیایی، هزینه کل تولید را کاهش می دهد. اگر چه استفاده از لجن فاضلاب مسائل مدیریتی تولید مانند هجوم علفهای هرز و بروز آفتها را به دنبال دارد، اما این مسائل با استفاده از اقدامات حفاظتی گیاه حل می شود (بخش و حسن، ۲۰۰۵). کمپوست کردن ضایعات آلی آنها را به یک محصول با ارزش افزوده تبدیل می کند، بطوریکه حتی وقتی در مقادیر کم مورد استفاده قرار می گیرند در مقایسه با استفاده سنتی آنها در مقادیر کلان، بسیار سودمند می باشند (اصغر و همکاران، ۲۰۰۶).

سالها کشاورزان مکزیکی در جستجوی گزینه های جدیدی برای کشاورزی بودند که نهایتاً کشاورزی ارگانیک را به وجود آوردند. کشاورزی ارگانیک مزایایی از جمله، کاهش هزینه ها، حفظ سلامت محیط و تجارتی کردن تولیدات کشور را به همراه داشت. سبزیجات به علت مقدار آب بالا (۸۵٪)، بافت آبدار با سلولز بالا، مقدار ویتامین و کانی ها و دوره رشد کوتاه، و همچنین به علت اینکه اساس تغذیه انسان می باشند یکی از سود آور ترین کشتها به حساب می آیند. در شیوه ارگانیک تولیدات باغبانی، بسیار مهم است که خاک دارای یک توازن دینامیکی از موجودات زنده مثل باکتریها، قارچها، کرمهای خاکی و مقادیر بالایی از مواد آلی باشد، زیرا در چنین محیط کشتی گیاهان بدون بروز بیماریها و امراض رشد می کنند (گواندارا و همکاران، ۲۰۰۲). هر چند، کودهای معدنی فاکتور اصلی در حفظ حاصلخیزی خاک هستند اما، استفاده فشرده از کودهای معدنی و بعضی شیوه های نامناسب کشاورزی مانند سوزاندن کاه و کلش، می تواند تا حد زیادی مواد آلی خاک ها را

کاهش دهد، به طور مستقیم بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک تأثیر بگذارد، و سبب تخریب خاک ها شود که نهایتاً فشرده شدن و بیابانی شدن خاک ها را به دنبال دارند (تِجادا و همکاران، ۲۰۰۱). بنابراین، با توجه به اثرات مخرب زیست محیطی ناشی از مصرف بی رویه نهاده های صنعتی از جمله کودهای شیمیایی، دائماً بر اهمیت توجه به کشاورزی پایدار افزوده می شود (صباحی، ۱۳۸۵). همچنین، مطالعات بلند مدت نشان می دهند که استفاده متداوم از کودهای شیمیائی عملکرد گیاهان زراعی را به علت اسیدی شدن خاک، افت خصوصیات مطلوب فیزیکوشیمیائی خاک و عدم وجود ریز مغذی ها در کودهای N-P-K کاهش می دهد (آددایرن و همکاران، ۲۰۰۴).

در ایران نیز طی دهه های اخیر کاربرد سموم و کودهای شیمیایی بطور قابل ملاحظه ای افزایش یافته است. اما در خصوص سلامت و ایمنی کافی محصولات تولید شده در کشور تردیدهای زیادی وجود دارد. عملیات کشاورزی رایج، محیط زیست را در مقیاس جهانی تخریب کرده و باعث کاهش تنوع زیستی در تعادل بوم نظام های طبیعی شده و منابع طبیعی را به مخاطره انداخته است، مصرف سموم و کودهای شیمیائی گذشته از هزینه اضافی اثرات جبران ناپذیری بر محیط زیست و سلامتی انسان دارند در نتیجه برای رهایی از مشکلات به وجود آمده، استفاده از نظام های زراعی جایگزین برای تولید محصولات زراعی امری ضروری است (کوچکی و همکاران، ۱۳۷۶).

در بیش از ۳۰ کشور جهان نشان داد که بطور متوسط حدود ۳۰ درصد خاکهای این کشورها به کمبود یک یا چند عنصر ریزمغذی مبتلا می باشند (اسدی کنگر شاهی، ۱۳۸۳). به عقیده ملکوتی و غیبی (۱۳۷۸)، در خاکهای آهکی کشورهای مختلف جهان منجمله ایران درصد کمبود به مراتب بیشتر است. در واقع کمبود عناصر میکرو یک مسأله جدی جهانی شده، مخصوصاً، در سرزمینهایی که تنوع عادات غذایی کم است. ویتامین ها و کانیها (تقریباً ۴۰ نوع) برای رشد فیزیکی و ذهنی، سیستم ایمنی و فعالیتهای متابولیکی ضروری می باشند و با توجه به اینکه سبزیجات به واسطه دارا بودن ترکیبات ضروری مورد نیاز بدن انسان، مانند کربوهیدراتها، پروتئین ها، ویتامین ها، عناصر معدنی و کمیاب، برای رژیم غذایی انسان حیاتی می باشند (فلایمن و آفولایان، ۲۰۰۶)، در سالهای اخیر برای رفع کمبود عناصر ریزمغذی که سوء تغذیه را به دنبال دارد محققان غنی سازی بیولوژیکی عناصر میکرو در محصولات غذایی ضروری را به عنوان یک روش مؤثر برای حل این مسأله مطرح نمودند.

۲-۲ مواد آلی خاک

مواد آلی خاک تجمعی از بقایای تا حدی پوسیده و تا حدی سنتز شدهٔ حیوانات و گیاهان است. چنین موادی در حال پوسیدگی فعال بوده و دائماً در معرض حملهٔ میکروارگانیسم های خاک قرار دارند. نتیجتاً مواد آلی خاک اغلب ناپایدارند و دائماً باید به وسیلهٔ افزودن بقایای گیاهی آن را تجدید کرد. میزان مواد آلی موجود در قشر سطحی یک خاک معدنی معمولاً حدود ۰/۵ تا ۵٪ وزنی است؛ اما در بعضی از خاک های پیت این میزان به حدود ۱۰۰٪ نیز می رسد. حتی در خاک های غیر آلی، مواد آلی خاک می تواند اثرهای قابل توجهی روی خواص فیزیکی و شیمیایی باقی بگذارد. بقایای گیاهان و حیوانات عالی به عنوان منبع عالی غذا برای میکروارگانیسم های خاک مورد استفاده قرار می گیرند. اندکی بعد از وارد شدن این بقایا در خاک، میکروب ها برای تأمین مواد غذایی و انرژی خود شروع به تجزیهٔ آنها می کنند.

مواد آلی غیر هوموسی شامل موادی می شود که یا تجزیه نشده اند (بافتهای تازه) و یا تا حدی تجزیه شده اند. اجسام غیر هوموسی شامل کربوهیدرات ها و ترکیبات وابسته، پروتئین ها و مشتقات آن، چربیها، لیگنین ها، تانن ها و برخی فرآورده های کم پوسیده است. مواد آلی غیر هوموسی ممکن است شامل ریشه ها و اندامهای هوایی گیاهان مختلف در حال پوسیدگی نیز بشود. فرآورده های تنزل یافتهٔ مواد غیر هوموسی با قرار گرفتن در واکنشهای آنزیمی و شیمیایی، تشکیل پولیمرهای جدیدی به نام هوموس می دهند. هوموس مخلوطی است از مواد کلوئیدی و بی شکل قهوه ای یا قهوه ای تیره که به تجزیهٔ میکروبی مقاوم است و از تغییر شکل بافتهای اصلی درست شده و یا توسط میکروارگانیسم های خاک سنتز شده است.

حدود ۹۰٪ یا بیشتر از کل هوموس خاک از دو نوع پلیمر به نامهای اسیدهای هومیک (۵۰ تا ۸۰٪) و پلی ساکاریدها (۱۰ تا ۳۰٪) تشکیل شده است. اجزای هوموسی و غیر هوموسی مادهٔ آلی خاک برای محیط خاک مهم هستند. مواد غیر هوموسی اثرهای کوتاه مدت از قبیل تأمین منابع غذایی و انرژی برای موجودات زنده و تأمین منابع حاصلخیزی طبیعی خاک را به عهده دارد، در حالیکه هوموس اثرهای درازمدتی از قبیل تأمین ساختمان مطلوب خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، تامپون pH و افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک به جای می گذارد (مجللی، ترجمه، ۱۳۷۳).

به علاوه مواد آلی به عنوان پوششی بر سطح خاک با ممانعت از تأثیر مستقیم اشعه خورشید و همچنین ایجاد منافذ درشت تر، از تبخیر زیاد آب از سطح خاک جلوگیری نموده که بدین ترتیب راندمان مصرف آب افزایش می یابد (برسِلر، ۱۹۸۲). افزایش مواد آلی به خاکها منجر به تشکیل خاکدانه ها شده و ظرفیت نگهداری رطوبت، هدایت هیدرولیکی، جرم مخصوص ظاهری، درجه تراکم، حاصلخیزی خاک و مقاومت در برابر فرسایش آبی و بادی را بهبود می بخشد (زِبارت و همکاران، ۲۰۰۰). لوگان و همکاران (۱۹۹۶) گزارش کردند که، اثر مواد آلی بر ویژگی های فیزیکی خاک بستگی زیادی به سرعت تجزیه آنها دارد. عوامل موثر بر سرعت تجزیه مواد آلی، شامل ترکیب شیمیایی این مواد (مقدار کربن، نسبت C/N)، درجه حرارت خاک، رطوبت خاک، طرز اضافه کردن (سطحی یا مخلوط کردن با خاک) و مقدار آن در خاک می باشد.

۲-۳ کودهای شیمیایی

نظر به اینکه حاصلخیزی خاک عرضه عناصر و تغذیه گیاه را کنترل می کند یکی از مهمترین فاکتورهای درگیر در احیای زمین می باشد. حفظ حاصلخیزی به واسطه نهاده های آلی، تا حد زیادی در کشورهای توسعه یافته در اثر رشد صنعت شیمیایی جایگزین شده است که همه ساله بیش از صد میلیون تن عناصر غذایی با کاربرد کود شیمیایی تولید می شود. بیشتر محدودیت های جدّی که برای کشاورزی ارگانیک در سرتاسر جهان وجود دارند عبارتند از مقادیر ناکافی کود آلی، آب و کنترل آفتهای شایع. زباله های انسانی به مدت زیادی به عنوان یک روش برگشت حاصلخیزی خاک استفاده می شد. بطوریکه تخمین زده می شود که مقدار کل فاضلاب ایالت متحده، حدود ۱/۵ میلیون تن نیتروژن به تنهایی، یا در حدود ۱۵٪ مقدار فعلی کود غیر آلی عرضه شده در بازار را تأمین می کند. در کشاورزی ارگانیک لگومینوزها، جلبکهای سبز آبی و آزولا بسیار مهم می باشند. در واقع معنای بدیهی سیستم های کشاورزی ارگانیک اشاره دارد به وجود خطرات محیطی کمتر در این سیستم نسبت به زمانی که کودهای شیمیایی غیر آلی به کار برده می شود. مصرف کل جهانی سه عنصر غذایی اصلی در سال ۱۹۸۱ در مقایسه با ۱۹۵۳ تقریباً هفت برابر بیشتر بود. این ارقام نشان می دهد که کود شیمیایی به عنوان اولین نیاز ضروری برای کشاورزی اقتصادی مطرح می باشد. تأثیرات عمده ای که کودهای غیر آلی بر کشاورزی در جهان امروز دارند اجتناب ناپذیر است، زیرا آنها مسئول حداقل ۳۰٪ همه تولیدات کشاورزی ایالت متحده و شاید بیش از ۵۰٪ تولید دانه های غلات می

باشند، بطوریکه ضریب همبستگی بین کود شیمیایی و ذرت ۰/۷۱ + و گندم ۰/۹۱ + گزارش شد (اولسن، ۱۹۸۷).

اختلافات زیادی بین کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه در مقادیر کاربرد کودها وجود دارد. استفاده از کودها و آهک اثرات مفیدی بر خصوصیات خاک دارند. بواسطه بهبود رشد تاج پوشش بیشتر گیاه و رشد بیشتر ریشه در سطح زیرین، خاک در برابر عوامل فرساینده آبی و بادی محافظت می شود. مهمترین مزیت مطرح شده در سیستم های کشاورزی آلی در طی زراعت با نهاده های شیمیایی افزایش در خاکدانه سازی خاک بواسطه افزایش فعالیت بیولوژیکی است. همچنین می توان گفت که کاربرد کود شیمیایی احتمالاً یک فاکتور مهم در حفظ منابع آب درگیر در کشاورزی است، بدینصورت که محصولی که کود دریافت کرده اندکی بیشتر آب نسبت به محصولی که هیچ کودی دریافت نکرده استفاده می کند در نتیجه عملکرد افزایش می یابد، این در صورتی است که آب بطور خیلی مؤثر، بر حسب کیلوگرم تولید شده در واحد آب مصرف شده، استفاده می شود (اولسن، ۱۹۸۷).

گزارشاتی مبنی بر اینکه برخی کودهای شیمیایی مسئول سخت شدن خاک و تبدیل آنها به خاکهای با نفوذ پذیری کمتر می باشد، وجود دارد که در واقع این اثرات پیامدهایی از مدیریت ضعیف کشاورز بوده است. با این وجود استفاده گسترده از کودهای نیتروژنه و فسفره، می تواند سبب اسیدی شدن خاک سطحی شود. آنچه بدیهی است، هر کیلو گرم از کود نیتروژنه (نیترات پتاسیم و سدیم) نیاز به حدود ۱/۸ کیلوگرم آهک برای خنثی سازی اسیدهای تولید شده دارد، که برای سولفات آمونیم سه برابر آن مقدار می باشد. اصلاح واکنش اسیدی در خاکهای سطحی مستلزم آهک دهی دوره ای خاکها می باشد که بطور ذاتی آهکی نیستند. در نادیده انگاشتن وضعیت اسیدی، سرانجام خاکهای زیرین به همان اندازه اسیدی می شوند. اگر اجازه پیشرفت داده شود تا اینکه خاک زیرین به شدت به همراه سمیتهای منگنز و آلومینیم اسیدی شود، از رشد ریشه محصول جلوگیری شده و بهره وری کاهش می یابد. علاوه بر این، اصلاح اسیدیته خاک زیرین به آسانی امکان پذیر نمی باشد، چون کلسیم موجود در آهک متحرک نبوده و به آسانی از محل خود آبشویی نمی یابد. همچنین گزارش شد که به علّت مسائل اسیدزایی، سولفات آمونیم نباید به عنوان منبع نیتروژن برای خاکهای نواحی گرمسیری که دارای ظرفیت بافری پایین هستند استفاده شود. همچنین استفاده سنتی مداوم طولانی مدت نیتروژن، فسفر و پتاسیم سبب عدم توازن غذایی در خاک، ایجاد سمّیت و

آسیب به محصولات می شوند. زیادی فسفر در خاک، مخصوصاً در خاکهای خنثی تا قلیایی، می تواند کمبود روی را تحریک کند. وقتی این مسئله به وسیله اصلاح مقدار روی خاک رفع شود، کمبود آهن بعلت مقادیر روی و فسفر بالا ایجاد می شود. بدینگونه مشکلی ایجاد می شود که به آسانی نمی توان از آن خلاص شد. بطور مشابه، زیادی پتاسیم و نیتروژن در خاک نیز سبب کمبود منیزیم در علوفه می گردد و مخصوصاً به حیوانات مصرف کننده علوفه صدمه می زند، که یکی از دلایل برای بیماری هیپومگنزیا یا grass tetany می باشد (اولسن، ۱۹۸۷).

مسأله دیگری که فائو در سال ۱۹۷۲ گزارش کرد در مورد اثرات کودهای شیمیایی بر آلودگی عناصر غذایی آبهای سطحی و زیر سطحی می باشد. در تبدیل هر گونه خاک به خاکی حاصلخیزتر از دیدگاه اقتصادی، انرژی و منبع حفاظت و کیفیت محیطی ضروری است که کودهای شیمیایی در مؤثرترین وضعیت ممکن استفاده شوند. که در این مورد نیاز به یک سابقه طولانی از تحقیق و آزمون برای تجویز عناصر غذایی، می باشد. تهیه نقشه های خاک تحت سیستم های مدرن طبقه بندی خاک می تواند برای کشاورز در طرح ریزی برخی از نیازهای کودی بسیار مؤثر باشد. برای مثال، خاکهای گروه Ustoll، رده Mollisol، معمولاً دارای واکنش نزدیک به خنثی و غنی در محتوای عناصر بازی از عناصر غذایی گیاه، شامل پتاسیم، کلسیم و منیزیم می باشند و از این رو کشاورز نیاز ندارد خودش را نگران خرید اینگونه کودها کند. مطمئن ترین اظهارنظر در خصوص کاربرد کود شیمیایی مورد نیاز برای تبدیل یک خاک با حاصلخیزی پایین به خاکی با بیشترین عملکرد اقتصادی با آزمایشات کودی مزرعه ای به دست می آید. در این راستا برنامه های کودی فائو (۱۹۸۱b) هزاران آزمایش را در طی ۲۰ سال اجرا و نیازهای غذایی نواحی مختلف را تعیین کرد (اولسن، ۱۹۸۷).

۲-۴ سیستم تلفیقی تغذیه گیاه

سیستم های کشاورزی متداول نشان داده اند که اگر چه به کمک کودهای شیمیایی، در کوتاه مدت می توان به عملکردهای بالایی دست یافت ولی پایداری حاصلخیزی خاک و سلامت محیط زیست در این سیستم ها زیر سؤال است. محققین مهمترین روش فائق آمدن بر این مشکل را رو آوردن به کشاورزی پایدار اعلام می کنند (شریفی، ۱۳۷۷). یکی از جنبه های کشاورزی پایدار مصرف تلفیقی کود است. در این سیستم درصدی از نیاز کودی توسط کودهای شیمیایی و درصدی دیگر توسط کودهای آلی منجمله کود حیوانی تأمین می شود. در آزمایشات بلند مدت مشخص شده

است که استفاده تلفیقی از کودهای آلی و شیمیایی می تواند یک سیستم تولید فشرده را پایدار سازد. محققین دلیل این امر را بهبود ویژگی های کیفی خاک و احتمالاً انطباق بیشتر بین آزادسازی نیتروژن با نیاز گیاه اعلام می کنند (صباحی، ۱۳۸۷). استفاده توأم از کودهای شیمیایی و زائدات آلی کمپوست شده می تواند یک روش برای تقویت تولید محصولات باشد. این می تواند راندمان کودهای شیمیایی را بهبود ببخشد و بدینگونه استفاده آنها را کاهش دهد. استفاده توأم از کودهای آلی و غیر آلی می تواند تولید محصول را بهبود و سلامت و بهره وری خاک را تقویت کند. کاربرد ضایعات آلی به همراه کودهای شیمیایی در بهبود عملکرد محصول، pH خاک، کربن آلی و نیتروژن، فسفر و پتاسیم قابل دسترس در خاک لومی شنی مفید است. این روش همچنین می تواند برخی مسائل تغذیه ای را که ممکن است به سلامت و بهره وری فردی صدمه بزند کاهش دهد (اصغر و همکاران، ۲۰۰۶). کانچی کریمس و سینگ (۲۰۰۱) همبستگی بالایی بین میزان بیومس کل سه گیاه ذرت، گندم و لوبیا چشم بلبلی با میزان کربن آلی خاک به دست آوردند. یکی از تأثیرات بارز مصرف تلفیقی کود، بهبود قابلیت دسترسی فسفر خاک است. لباسچی (۱۳۷۹) در تحقیقی دریافت که عملکرد سرشاخه گل راعی در حالت مصرف کود شیمیایی بیشتر از حالت تلفیقی و آلی بود. در یک آزمایش مزرعه ای پنج ساله با ارزن انگشتی در هند در دو تیمار کاربرد بهینه N-P-K به صورت کود شیمیایی (N-P-K ۷۰–۳۰–۶۰) و تیمار N-P-K ۵۰ درصد به اضافه ۱۰ تن کود دامی در هکتار، عملکرد دانه مشابه بود ولی جایگزین کردن کامل کود شیمیایی توسط کود دامی باعث کاهش متوسط عملکرد پنج ساله شد (هِگد و همکاران، ۱۹۸۸). در مقابل شریفی (۱۳۷۷) گزارش کرد که در گیاه رازیانه ترکیب کودهای دامی و شیمیایی باعث افزایش عملکرد بیشتری نسبت به مقادیر بالای کودهای شیمیایی شد. حسن زاده (۱۳۷۹) هم در مقایسه تیمارهای کودی شیمیایی و تلفیقی در آفتابگردان در یک آزمایش دو ساله، دریافت که عملکرد دانه در تیمارهای تلفیقی کود بیشتر از تیمارهای شیمیایی بود. در برنج، مصرف کود دامی به میزان ۱۵ تن (با درصد نیتروژن ۰/۵ درصد) به همراه ۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار باعث افزایش تولیدی معادل ۳۵ درصد گردید در حالیکه مصرف کود نیتروژن به میزان ۱۴۰ کیلو گرم در هکتار توانست فقط ۲۳ درصد محصول را افزایش دهد (ملکوتی، ۱۳۷۵).

امروزه بیشتر سبزیجاتی که در دنیا تولید می شود به صورت متداول می باشد ولی تلاش بر این است که راهکارهای تلفیقی و نظام های کشاورزی ارگانیک را در تولید این محصولات به کار گیرند که البته موفقیت های چشمگیری نیز در این زمینه به دست آمده است (گریر، ۲۰۰۰). بکر و

همکاران (۱۹۹۴) بیان کردند که ماده آلی مانند یک کود ازته کند رها عمل می کند و متناسب با تقاضای گیاه، ازت از ماده آلی عرضه می گردد که این امر علاوه بر اینکه باعث ازدیاد محصول می شود، افزایش ذخیره نیتروژنی خاک را نیز در پی خواهد داشت. از طرفی، سیکورا و اِنکری (۲۰۰۰) گزارش کردند که، وقتی کود معدنی ازته در ترکیب با کمپوست به کار برده می شود، کمپوست می تواند عملکرد بالاتر محصول را فراهم کند.

اصغر و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که، ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کمپوست غنی شده با L-tryptophan + ۵۰٪ (۳۰ کیلوگرم کود ازته) کود ازته توصیه شده در مقایسه با تیمارهای دیگر (۶۰ کیلوگرم در هکتار کود ازته، کمپوست غنی شده، کمپوست غنی شده + ۳۰ کیلوگرم در هکتار کود ازته، کمپوست غنی شده + ۴۵ کیلوگرم کود ازته، کمپوست غنی شده + ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود ازته و PK به اندازه معین و پایه در همه تیمارها به کار برده شد) بطور معنی دار نتایج بهتری تقریباً در همه پارامترها به جز تعداد برگهای گیاه و طول ریشه تربچه تولید کرد. بطوریکه کمپوست غنی شده با ۵۰٪ کود ازته توصیه شده تقریباً نتایجی مشابه ۱۰۰٪ کود ازته به تنهایی داد، بنابراین نیمی از نیتروژن صرفه جویی می شود. همچنین گزارش شد که وقتی کمپوست همراه با کودهای شیمیایی به کار برده می شود کمپوست نه تنها عناصر غذایی را به کندی از خودش آزاد می کند بلکه از تلفات کودهای شیمیایی در طول دنیتریفیکاسیون، تبخیر و آبشویی به واسطهٔ پیوند عناصر غذایی و آزاد کردن تدریجی آنها جلوگیری می کند، بدینگونه کمپوست از تلفات عناصر غذایی جلوگیری می کند.

۲-۵ ورمی کمپوست

کلمه Verm از لغت لاتین Vermis گرفته شده که به معنی کرم می باشد. ورمی کمپوست حاصل یک فرآیند نیمه هوازی است که توسط گونه های خاصی از کرم ها، قارچ ها، باکتری ها و اکتینومیست ها توأماً انجام می پذیرد (ادوارد، ۱۹۹۵). ورمی کمپوست، مواد حاصل از بستر رشد کرم بوده که پس از دفع شدن از سیستم گوارشی کرم در محیط باقی می ماند، لذا این ماده مجموعه ای از فضولات کرم به همراه مواد آلی تجزیه شده و نیز اجساد کرم ها بوده که برای گیاه ارزش غذایی فراوانی دارد. مواد دفع شده توسط کرم ها، اغلب دارای ازت، فسفر، پتاسیم به میزان ۱۱-۵ مرتبه بیشتر از خاک هایی است که در آن کرم های خاکی وجود ندارد. در اثر عبور مواد آلی از دستگاه گوارش کرم میزان عناصر قابل استفاده گیاه از جمله عناصر میکرو (ریز مغذی) افزایش چشم گیری

می یابد. آنالیزهای فضولات کرم های خاکی (ورمی کمپوست) نشان می دهد که این فضولات از نظر مواد غذایی غنی تر از خاک هستند، که در مورد کلسیم در حدود ۳ برابر بیشتر و در مورد نیتروژن، فسفر و پتاسیم چندین برابر بیشتر می باشد (بارلی، ۱۹۶۱). ورمی کمپوستها مناطق سطحی ریز زیادی دارند که میکروسایتهای زیادی را برای فعالیت میکروبی و برای حفظ قوی عناصر غذایی فراهم می کند. همچنین، ورمی کمپوستها غنی در تنوع و جمعیت میکروبی مخصوصاً قارچها، باکتریها و اکتینومیستها، تنظیم کننده های رشد گیاهی و هوماتها و نیز شامل مقادیر زیادی از مواد هومیکی می باشند. ورمی کمپوست دارای تخلخل زیاد، قدرت جذب و نگهداری عناصر غذایی بالا، تهویه و زهکشی مناسب و ظرفیت بالای نگهداری آب می باشد. استفاده از ورمی کمپوست در کشاورزی پایدار، علاوه بر افزایش جمعیت و فعالیت میکروارگانیزم های مفید خاک، در جهت فراهم کردن عناصر غذایی مورد نیاز گیاه همانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم محلول عمل نموده و باعث بهبود رشد و عملکرد گیاهان زراعی می شود (آرانکون و همکاران، ۲۰۰۴). مخلوط کردن ورمی کمپوست با خاک جوانه زنی بذر و رشد گیاه را تسریع می نماید. ظرفیت تبادل کاتیونی ورمی کمپوست بیش از ۵۰ میلی اکی والانت در یکصد گرم خاک می باشد. به طور متوسط هر عدد کرم در روز به اندازه وزن بدنش مواد آلی را پس از بلع به صورت فضولات دفع می کند (ادوارد، ۱۹۸۳). ورمی کمپوست در مقایسه با کمپوست که به روش سنتی تهیه می گردد، به دلیل افزایش معدنی شدن و درجه هوموسی شدن، از ارزش غذایی بالاتری برخوردار است (جی بال و کاپوسوامی، ۲۰۰۱). در همین راستا مامو و همکاران (۱۹۹۸) نیز مزیت استفاده از ورمی کمپوست به تنهایی را به دلیل فراهمی بیشتر عناصر غذایی در ورمی کمپوست دانستند، در صورتیکه سایر کمپوست های آلی را حتماً باید با کودهای شیمیایی استفاده نمود. البته با مصرف توأم ورمی کمپوست و کودهای شیمیایی نه تنها می توان مقدار مصرف کودهای شیمیایی را کاهش داد بلکه می توان باعث بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نیز گردید. تهیه ورمی کمپوست از ضایعات آلی و افزودن آن به خاک سبب کاهش آلودگی محیط زیست و افزایش فعالیت ریز جانداران خاک می شود (آرنود و همکاران، ۲۰۰۰). طی مقایسه ای که از نظر خصوصیات شیمیایی کمپوست و ورمی کمپوست انجام گرفته این نتیجه به دست آمده که غلظت عناصر غذایی در ورمی کمپوست به طور معنی داری بیشتر از کمپوست بوده و بنابراین میزان کاربرد این ماده بایستی حدوداً نصف کمپوست باشد. برتری دیگر ورمی کمپوست ها نسبت به کمپوست های معمولی این است که حاوی آنزیم ها و هورمون های رشد می باشند (موسوی و

همکاران، ۱۳۸۸). کرم ها از محدوده وسیعی از مواد آلی تغذیه می کنند. از این جمله می توان کودهای دامی تازه و نیمه پوسیده، بقایای گیاهی، ضایعات کارخانجات کاغذ سازی و قند، خاک اره، ضایعات آشپزخانه ای، زباله شهری و لجن فاضلاب را نام برد (ادوارد، ۱۹۹۸).

همچنین معیارهای مختلفی برای تشخیص رسیدگی ورمی کمپوست به کار می رود، مانند تبدیل رنگ مواد بستر به قهوه ای تیره، دانه ای شدن مواد، کاهش فعالیت کرم های خاکی، کاهش میزان خروج دی اکسید کربن و کاهش نسبت کربن به نیتروژن (آتیه و همکاران، ۲۰۰۰). ورمی کمپوست تولید شده از ضایعات حیوانی یکنواخت و دارای کیفیتی پایا است. در این کود آلودگی های اولیه کاهش یافته و در مدت زمان طولانی بدون اینکه باعث فشردگی محیط کشت شود ثبات خود را حفظ کرده و عناصر غذایی را برای مصرف گیاه حفظ می کند (نگوا و همکاران، ۱۹۹۹). در این زمینه پرورش و همکاران (۱۳۸۳) نیز بیان نمودند که ورمی کمپوست حاصل از لجن فاضلاب شهری، از نظر مواد آلی نسبت به لجن خام و مخلوط لجن خام و عامل حجیم کننده، پایدارتر می باشد. نسبت کربن به نیتروژن فاکتور مهمی در تعیین کیفیت کودی است که بالا بودن آن باعث مصرف نیتروژن خاک و کاهش حاصلخیزی خاک و پایین بودن آن، باعث از دست رفتن نیتروژن به صورت آمونیاک می شود. آزمایش ها نشان داد که لجن خام و مخلوط لجن خام با عامل حجیم کننده، به ترتیب دارای نسبت های کربن به نیتروژن بسیار پایین و نسبتاً بالا می باشند. در حالی که نسبت کربن به نیتروژن ورمی کمپوست حاصل از لجن در حد مطلوب بود. هم چنین ورمی کمپوست حاصل، از نظر مواد مغذی قابلیت رقابت با کودهای حیوانی را داشت که با توجه به فقر اکثر خاک های کشاورزی از نظر مواد آلی (کمتر از۱ درصد) محصول حاصل، اصلاح کننده آلی مناسبی برای بهبود حاصلخیزی خاک های کشاورزی می باشد. تحقیقات نشان می دهد که کودهای آلی باعث افزایش تولید بیوماس و ترکیب های استخراج شده از گیاهان دارویی می شود (چیفر و همکاران، ۱۹۹۳). بررسی ها همچنین نشان می دهد که تأثیرات مطلوب ورمی کمپوست به دلیل تغییر در شرایط فیزیکی، شیمیایی و خصوصیات میکروبی و بیولوژیکی محیط کشت گیاه می باشد (آتیه و همکاران، ۲۰۰۰). در همین راستا موسوی و همکاران (۱۳۸۸) نیز اظهار داشتند که اثرات مثبت ورمی کمپوست روی رشد گیاه به واسطه محتوای عناصر تغذیه ای آن نیست بلکه به خاطر مواد مؤثر بر رشد گیاه موجود در آن مانند تنظیم کننده های رشد گیاه و مواد هومیکی تولید شده به وسیله جمعیت میکروبی است. تحقیقات گسترده در دنیا مؤید اقتصادی بودن پرورش کرم خاکی به طریق

صنعتی است. متأسفانه در ایران بررسی کافی و جامع در این رابطه صورت نگرفته است. علاوه بر آن بالا بودن درصد ضایعات (۳۰-۴۰ درصد) در بخش کشاورزی معضلات زیست محیطی ناشی از دفع این مواد را نیز افزایش داده است (عبادی و همکاران، ۱۳۸۴).

۲-۵-۱ فواید ورمی کمپوست

در خاکهایی که فعالیت کرم خاکی مشهود می باشد خلل و فرج پر شده از هوا ۸ الی ۳۰ درصد بیشتر از خاک های فاقد این جانوران است. همچنین در اثر فعالیت این جانوران مفید، سرعت نفوذ آب در خاک بین ۲ تا ۱۰ برابر بیشتر شده و ظرفیت نگهداری آب در خاک نیز افزایش می یابد. این فضولات کرم های خاکی مورد آزمایش های شیمیایی و بیولوژیکی قرار گرفته اند که بسته به محتوای ماده آلی اولیه ترکیب آنها متفاوت است. محتوای رطوبت این فضولات بین ۳۲ تا ۶۶ درصد، pH آن در حدود ۷ می باشد. این فضولات درصد بیشتری از عناصر ماکرو و میکرو را نسبت به انواع کمپوست های باغی دیگر تولید می کنند (رجالی و خاوازی، ۱۳۸۰). جدول (۲- ۱) مقایسه کمپوست باغی با ورمی کمپوست حاصل از مواد اولیه یکسان می باشد (هایمی و هوگتا، ۱۹۸۶).

جدول ۲-۱ مقایسه خصوصیات شیمیایی ورمی کمپوست نسبت به کمپوست

پارامترها	کمپوست باغی	ورمی کمپوست
pH	۷/۸	۶/۸
EC (dS/m)	۳/۶	۱/۷
ازت کل (٪)	۰/۸	۱/۹۴
ازت نیتراتی (mg/Kg)	۱۵۶/۵	۹۰۲
فسفر کل (٪)	۰/۳۵	۰/۴۷
پتاسیم کل (٪)	۰/۴۸	۰/۷۰
کلسیم کل (٪)	۲/۲۷	۴/۴۰
سدیم کل (٪)	<۰/۰۱	۰/۰۲
منیزیم کل (٪)	۰/۵۷	۰/۴۶
آهن کل (mg/Kg)	۱۶۹۰	۷۵۶۳
روی کل (mg/Kg)	۱۲۸	۲۷۸
منگنز کل (mg/Kg)	۴۱۴	۴۷۵
مس کل (mg/Kg)	۱۷	۲۷
بر کل (mg/Kg)	۲۵	۳۴

سرینواس و همکاران (۲۰۰۰) دریافتند که با کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی کمپوست، نیتروژن قابل دسترس خاک به طور معنی داری تحت تأثیر قرار می گیرد. همینطور دیگر عناصر شامل فسفر، پتاسیم و منیزیم نیز افزایش یافت.

جدول ۲-۲ مقایسه خصوصیات شیمیایی ورمی کمپوست دامی و کود دامی (سماوات، ۱۳۸۰)

پارامترها	pH	EC	OC	N	P	K	Cu	Zn	Mn	Fe	Ca
		dS/m	%		mg/kg						
ورمی کمپوست دامی	۷/۵	۱۰	۲۱	۱/۶۶	۵۶۰۰	۱۱۷۰۰	۳۵	۱۲۶	۴۵۰	۹۷۴۰	۴۶۰۰
کود دامی پوسیده	۷/۵	۱۲/۵	۱۵/۹	۰/۵۳	۴۱۰۰	۹۲۰۰	۳۱	۹۵	۴۲۰	۷۴۷۰	۳۴۰۰

۲-۵-۱-۱ بهبود خصوصیات فیزیکی

فضولات باقیمانده از این کرمهای خاکی و تجزیه مواد آلی موجود در آنها توسط میکروارگانیسم های خاک باعث آزاد شدن ماده چسبنده ای می شود که این ماده ذرات خاک را به یکدیگر چسبانده و در نهایت خاکدانه های بسیار مقاوم و پایداری را به وجود می آورد. همچنین گسترش رشته های قارچی به داخل حفرات حاصل از فعالیت کرمهای خاکی به استحکام و پایداری خاک کمک می کنند و از این طریق نیز فرسایش پذیری خاک کاهش می یابد. در اراضی زراعی استفاده از ورمی کمپوست مانع از تشکیل سله در سطح خاک می شود. کرمهای خاکی روزانه بین ۲ تا ۳۰ برابر وزن خود خاک می بلعند، این بلعیدن و دفع مجدد موجب خرد و ریز شدن ذرات خاک گشته، مواد آلی را از سطح به عمق خاک انتقال می دهند (رجالی و خاوازی، ۱۳۸۰). همچنین اسیدهای هومیک آزاد شده از فضولات کرم های خاکی میزان فعالیت متابولیکی خاک (فعالیت آنزیم های دی هیدروژناز و پروتئاز) را افزایش می دهند (ماسکیاندارو، ۱۹۹۷). تأثیر کرم های خاکی در خاکدانه سازی و پایداری ساختمان خاک از طریق فضولاتی است که از نظر میکروبی بسیار فعال اند (اودز، ۱۹۹۳).

مطالعات تجادا و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد که، افزودن تفاله چغندر (beet vinasse) به خاک اثرات مخربی بر خصوصیات فیزیکی (پایداری ساختمان، جرم مخصوص ظاهری)، شیمیایی (ESP) و بیولوژیکی (بیومس میکروبی، تنفس و فعالیت آنزیمی) خاک دارد. اثرات منفی تفاله چغندر بر روی ساختمان خاک احتمالاً به علت طبیعت آن می باشد، چون تفاله چغندر دارای غلظت بالایی از Na^+ است، که باعث پراکنده شدن خاکدانه ها می شود. اما کمپوست شدن تفاله چغندر به همراه

ورمی کمپوست، باعث افزایش پایداری ساختمان خاک و کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک شد. و اظهار داشتند که مواد آلی همانند عامل سیمانی باعث همآوری ذرات خاک و تشکیل خاکدانه های پایدار می شود. علت کاهش جرم مخصوص ظاهری را به رقّت بخش معدنی خاک (Na^+) و افزایش تخلخل را به تشکیل خاکدانه های پایدار نسبت دادند. ماریناری و همکاران (۲۰۰۰) نیز گزارش کردند که، افزودن ورمی کمپوست در خاک تخلخل کل را بهبود می بخشد. که افزایش تخلخل در خاک اصلاح شده با ورمی کمپوست را به افزایش منافذ گرد شده در خاک مربوط دانست.

مِنیونِن و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که کاربرد تیمار ورمی کمپوست ۵ تن در هکتار و ورمی کمپوست تلفیق شده با ۵۰ درصد N-P-K در دو خاک لومی رسی و لومی شنی بطور معنی داری باعث افزایش تخلخل و کاهش جرم مخصوص ظاهری در هر دو خاک در مقایسه با شاهد شد. کاهش در جرم مخصوص ظاهری در تیمارهای ورمی کمپوست و ورمی کمپوست تلفیق شده با ۵۰ درصد کود شیمیایی اساساً به علت افزایش در جمعیت و فعالیت میکروبی بود که سبب تشکیل خاکدانه ها و افزایش تخلخل شد.

۲-۵-۱-۲ بهبود رشد محصول و عملکرد

دیک (۱۹۹۴) با مصرف ورمی کمپوست روی محصولات مختلف از جمله گندم، چاودار و جو دوسر در آلمان نشان داد که مصرف ۶۵ تن ورمی کمپوست در مقایسه با کود معدنی منجر به افزایش عملکرد به میزان ۴/۵ درصد برای گندم، ۱/۸۲ درصد در چاودار و ۱۷/۸ درصد در جو دوسر می شود. توانایی ورمی کمپوست در یک زمین کشت شده با گندم توسط مطالعات دسایی و همکاران (۱۹۹۹) ارزیابی شد. آنها بیان کردند که کاربرد ورمی کمپوست همراه با کود نیتروژنه موجب افزایش عملکرد گیاه گردید.

ادوارد (۱۹۹۵) در یک مطالعه با ۲۵ نوع سبزی، میوه و گیاهان دارویی نشان داد که ورمی کمپوست نقش بهتری را نسبت به مواد اصلاحی و تجاری دیگر ایفا می کند. او پیشنهاد کرد تیمار با ورمی کمپوست منجر به بهتر شدن خصوصیات فیزیکی خاک، حضور هورمونهای رشد گیاه، بالا رفتن سطح آنزیمهای خاک و بیشتر شدن جمعیت میکروبی می شود. ساینز و همکاران (۱۹۹۸) گزارش کردند که مصرف ورمی کمپوست باعث افزایش قابل توجهی در عملکرد گیاهانی چون شبدر قرمز و خیار گردیده است. جیابال و کوپوشوامی (۲۰۰۰) نشان دادند که کاربرد ورمی کمپوست در زمین برنج باعث افزایش ۱۵/۹ درصد عملکرد نسبت به کاربرد تنهای کود شیمیایی نیتروژنه شده

است. همینطور این محققان نشان دادند که کاربرد ورمی کمپوست باعث افزایش در جذب نیتروژن به میزان ۱۵/۳ درصد، فسفر به میزان ۱۰/۷ درصد و پتاسیم به میزان ۹/۴ درصد شد. همینطور محتوای کربن آلی آن نیز از ۴/۵۵ به ۶/۸۲ درصد در مقایسه با تیماری که فقط کود شیمیایی ازته به کار برده شده بود، افزایش یافت.

نورمن و همکاران (۲۰۰۲) با برررسی اثر ورمی کمپوست به عنوان یک کود آلی بر رشد و عملکرد گوجه فرنگی و فلفل در یافتند که عملکرد گوجه فرنگی در همه تیمارهایی که ورمی کمپوست به کار برده شده بود به طور معنی داری بیشتر از عملکرد گوجه فرنگی در تیمارهایی بود که کود شیمیایی به تنهایی استفاده شده بود. آنها همچنین دریافتند که اختلاف معنی داری در وزن ساقه، سطح برگ و عملکرد میوه گیاه فلفل نسبت به تیمارهایی که در آن فقط کود شیمیایی مصرف شده بود دیده می شود. همچنین آنها دریافتند که سطح برگ، تعداد پاجوشهای چغندر، تعداد گلها، وزن ساقه و بطور کلی عملکرد در مقایسه با تیماری که فقط کود شیمیایی دریافت کرده بود افزایش معنی داری یافت. توسعه ریشه گیاه و افزایش در عملکرد میوه می تواند به علت افزایش جمعیت میکروبی بعد از استفاده از ورمی کمپوست باشد که در نتیجه این جمعیت میکروبی با تولید هورمونها و هوماتها و تولید تنظیم کننده های رشد باعث افزایش عملکرد محصول می شود.

نارندر و همکاران (۲۰۰۲) نشان دادند که کاربرد کود ورمی کمپوست در مقایسه با کود دامی تأثیر بیشتری بر عملکرد و سایر فاکتورهای کیفی سیب زمینی داشته است. این محققان عنوان نمودند که ترکیبات کلاتی ورمی کمپوست برای جذب عناصر غذایی نسبت به کود دامی حالت پایداری بیشتری داشته و از طرف دیگر میزان غلظت عناصر غذایی در واحد سطح ورمی کمپوست بیشتر از کود دامی می باشد. از نظر تأثیر کاربرد انواع کودهای آلی بر فاکتورهای کیفی به نظر می رسد مصرف ورمی کمپوست در مقایسه با سایر کودهای آلی بیشترین تأثیر را در بهبود خواص کیفی پیاز، نظیر کاهش غلظت نیترات و افزایش درصد پروتئین داشته است (بای بوردی و ملکوتی، ۱۳۷۸). ورمی کمپوست نقش مهمی را در افزایش رشد و عملکرد محصولات زراعی، سبزیجات، گلها و محصولات باغی بازی می کند. کاربرد ورمی کمپوست جوانه زنی بیشتری (در حدود ۹۳٪) در مقایسه با تیمار شاهد (۸۴٪) نشان داد. همچنین عملکرد ماده خشک و تازه محصول نخودفرنگی در خاکی که با ورمی کمپوست آماده شده بود بیشتر بود (ناگاوالم و همکاران، ۲۰۰۴).

کاربرد ورمی کمپوست در حدود ۵ تن در هکتار بطور معنی داری عملکرد گوجه فرنگی را افزایش داد. عملکرد پیاز همچنین با کاربرد ورمی کمپوست در حدود ۱۰ تن در هکتار همراه با کودهای N-P-K نسبت به زمینی که تنها کود شیمیایی مصرف شده بود زیادتر بود (بای بوردی و ملکوتی، ۱۳۷۸). علیزاده (۱۳۸۰) در آزمایشی با بررسی اثرات ورمی کمپوست در افزایش عملکرد گندم در مرکز تحقیقات کشاورزی مازندران گزارش داد که تأثیر کاربرد ۲۰ تن در هکتار ورمی کمپوست با کاربرد کودهای شیمیایی بر مبنای آزمون خاک مشابهت داشت (۵/۴۸ و ۵/۳۳ تن در هکتار) همچنین در اثر مصرف کودهای آلی pH خاک کاهش یافته و در نتیجه خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاکهای زراعی بهبود یافته است.

هاشمی مجد و همکاران (۱۳۸۰) اثر ورمی کمپوست و کمپوست های مختلف را بر رشد گوجه فرنگی در شرایط گلخانه ای بررسی کردند. آنها ۶ تیمار (کود دامی نیمه پوسیده، ورمی کمپوست کود دامی، کمپوست بقایای توتون، کمپوست برگ چنار، کمپوست مخلوط سبوس برنج و لجن فاضلاب، کمپوست برگ چنار و لجن فاضلاب) را در چهار سطح ۰، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درصد حجم گلدان در نظر گرفتند. نتایج نشان داد که میزان عملکرد در تیمار کود دامی بسیار پایین تر از تیمارهای دیگر بود. در تیمار ورمی کمپوست کود دامی و تیمارهای مخلوط با لجن فاضلاب عملکرد بالاتری مشاهده شد. آنها بیان کردند که ورمی کمپوست به دلیل شباهتش به پیت از نظر تخلخل زیاد و قدرت بالای جذب آب و نگهداری عناصر غذایی می تواند از جایگزینهای بسیار مناسب پیت برای محیط کشت گلدانی باشد.

ریگی و رونقی (۱۳۸۲) در آزمایشی دریافتند که مصرف نیتروژن تا سطح ۲۰۰ میکروگرم در گرم خاک به همراه دو نوع ورمی کمپوست به میزان ۳۰ گرم در کیلوگرم خاک، غلظت ازت نیتراتی در خاک را به طور معنی داری افزایش داد. مصرف هر دو نوع ورمی کمپوست به تنهایی نیز سبب افزایش معنی دار غلظت پتاسیم خاک زیر کشت برنج شد. مصرف این دو نوع ورمی کمپوست غلظت روی را نیز در خاک به طور معنی داری افزایش داد اما بر غلظت منگنز تأثیری نداشت. مصرف ورمی کمپوست سبب افزایش قابلیت استفاده عناصر غذایی گیاه در خاک شد. به طور کلی مصرف ورمی کمپوست همراه با نیتروژن، سبب کاهش مصرف کودهای شیمیایی نیتروژنی مورد نیاز برنج گردید.

گاجالاکشمی و آباسی (۲۰۰۲) با مطالعه بر روی اثر کاربرد ورمی کمپوست و کمپوست بر روی رشد و گلدهی گیاه *Crossandra Undulaefolia* دریافتند که کاربرد ورمی کمپوست منجر به

اثر معنی داری در رشد و گلدهی این گیاه در مقایسه با تیمار شاهد شده است. کاربرد کمپوست نیز تأثیرات مثبتی روی این گیاه داشت اما اثر آن کمتر از ورمی کمپوست بود. تیمارهایی که با کمپوست آماده شده بود از نظر فاکتورهای رشد اثر مثبتی روی گیاه داشت اما اختلاف آن با تیمار شاهد که هیچ نوع کودی در آن استفاده نشده بود معنی دار نبود. در تیماری که ورمی کمپوست به کار برده شده بود تمام شاخص های رشد و میزان گلدهی اختلاف معنی داری را با تیمار شاهد داشت.

ورمی کمپوست بر جمعیت میکروبی خاک مؤثر است، کرمهای خاکی که تولید ورمی کمپوست می کنند، باعث افزایش فعالیت آنزیمی میکروارگانیسم های خاک می شوند. همینطور این کرمها بعضی از ویتامینها را در خاک از جمله ویتامین های گروه ب و ویتامین گروه د را ترشح می کنند. آلبانل (۱۹۸۸) بیان کرد که ورمی کمپوست نمک محلول کمتر و ظرفیت تبادل کاتیونی بالاتری نسبت به موادی دارد که ورمی کمپوست از آنها تهیه شده است، ضمناً ورمی کمپوست باعث افزایش اسید هومیک می شود. ادوارد و باروز (۱۹۹۸) گزارش دادند که ورمی کمپوست ها تخلخل تهویه ای، قابلیت زهکشی و ظرفیت نگهداری آب بالایی دارند و به دلیل سطح ویژه زیاد، ظرفیت زیادی برای نگهداری عناصر غذایی دارند.

۲-۵-۵ چگونگی استفاده از ورمی کمپوست

ورمی کمپوست می تواند برای همه محصولات از جمله زراعی، باغی، زینتی و سبزیجات مورد استفاده قرار گیرد:

محصولات زراعی: در حدود ۳-۲ تن ورمی کمپوست در هکتار همراه با بذر در زمان کاشتن یا با کاربرد ردیفی آن هنگامی که بذر را در عمق ۱۵-۱۲ سانتیمتری می کاریم استفاده شده است.

درختان میوه: مقدار ورمی کمپوست استفاده شده بین ۵ تا ۱۰ کیلوگرم برای هر درخت است که بستگی به سن درخت دارد. برای کاربرد مناسب ورمی کمپوست، یک حلقه به عمق ۱۸-۱۵ سانتیمتر در دور درخت حفر می کنیم. سپس یک لایه نازک از کود گاوی خشک و بلغور استخوان همراه با ۵-۲ کیلوگرم ورمی کمپوست استفاده می کنیم و سپس روی آن را با خاک می پوشانیم و مقداری آب روی این سطح می ریزیم.

گل ها: ورمی کمپوست به کار برده شده در حد ۷۵۰-۱۰۰ کیلوگرم در هکتار است.

سبزیجات: برای پرورش جوانه هایی که در خزانه می روید میزان ورمی کمپوست استفاده شده در حدود یک تن در هکتار است، این عمل باعث می شود جوانه هایی سالم و قوی به وجود آید. اما برای نشا کردن در زمین اصلی میزان ورمی کمپوست استفاده شده برای هر گیاه در حد ۵۰۰-۴۰۰ گرم در هنگام کشت ضروری است و ۴۵ روز بعد از کاشت استفاده از ورمی کمپوست ضروری می باشد (ناگاوالم و همکاران، ۲۰۰۴).

۲-۶ کمپوست زباله شهری

تا کنون تعاریف متعددی برای کمپوست ارائه شده است. بطور کلی بر اساس یک تعریف ایده آل، به هر محصولی که تحت فرآیند کمپوست شدن که همان به پایداری رسیدن ترکیبات آلی تحت شرایط هوازی است و باعث تولید حرارت بر اثر فعالیت موجودات زنده ریز می شود، اطلاق می گردد. محصول تولیدی باید عاری از عوامل بیماریزا و بذور علفهای هرز باشد. تمام کمپوست ها شبیه هم نیستند اگر چه در نظر اول ممکن است شبیه به نظر برسند ولی از لحاظ خصوصیات با هم متفاوت هستند. pH، شوری، خصوصیات فیزیکی، بلوغ و پایداری از خصوصیات مهم جهت تعیین کیفیت یک کمپوست می باشند (رابین و همکاران، ۲۰۰۱).

کمپوست زباله شهری از موادی چون، کاغذ، مقوای نازک، پسماندهای غذا، چوب و در کل از زباله هایی که در زندگی روزمره شهری توسط انسان به وجود می آید، تولید می شود. فرآیند تولید زباله شهری از یک طرف به پاکسازی محیط از آلاینده های شهری کمک می کند و از طرف دیگر به دلیل داشتن مقادیر قابل توجه عناصر غذایی، به عنوان یک کود آلی در کشاورزی قابل استفاده است. البته در مدیریت صحیح استفاده از این کود علاوه بر تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه باید جنبه های زیست محیطی و امکان آلوده شدن خاک به غلظت بالای فلزات سنگین نیز مورد توجه قرار گیرد (افیونی و رضایی نژاد، ۱۳۷۷).

مطالعات نشان می دهد که کمپوست به دست آمده از زباله های شهری حاوی مقادیر فراوانی عناصر معدنی است که پاره ای از آنها برای رشد گیاه ضروری است. از مهمترین این عناصر می توان به نیتروژن، فسفر، پتاسیم، بر، منگنز و مس اشاره کرد (داودی نژاد و همکاران، ۱۳۸۱). همچنین تمام کودهایی که به عنوان کود کمپوست تولید می شوند نمی توانند مفید باشند و باید در خصوص استانداردها و موارد ذیل مورد توجه کافی قرار گیرند (رابین و همکاران، ۲۰۰۱).